



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

SBĚRNICE M-BUS V AUTOMATIZACI BUDOV

M-BUS IN BUILDING AUTOMATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Filip Sluka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Marada, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky
Student: **Filip Sluka**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Marada, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Sběrnice M-Bus v automatizaci budov

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat zpracováním rešerše, týkající se sběrnice M-Bus (Meter Bus), která je cenově optimalizovaná průmyslová sběrnice k přenosu údajů o spotřebě energie v oblasti automatizace budov.

Cíle bakalářské práce:

1. Seznamte se se sběrnici M-Bus (Meter Bus).
2. Na základě získaných informací vypracujte přehledný popis sběrnice M-Bus a proveďte její zhodnocení.


Seznam literatury:

Belimo, <http://www.belimo.cz/mp-bus>, přístup 22. listopadu 2015.


Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 7. 11. 2016





doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce se věnuje sběrnici M-Bus (Meter Bus), což je průmyslová sběrnice pro přenos údajů o spotřebě energií a stavových veličinách prostředí v systémech automatizace budov. Tento dokument popisuje princip přenosu signálu, protokol této sběrnice, způsoby zapojení, typy komponentů, bezdrátovou variantu a podává zhodnocení technologie M-Bus a srovnání s jejími alternativami.

ABSTRACT

This thesis is about the M-Bus (Meter Bus), which is the industrial bus for the energy consumption data and the state values transmission in the building automation systems. This document describes signal transmission principle, M-Bus protocol, network topology, the types of components, the M-Bus wireless version and also provides summary of the M-Bus technology and the comparison with its alternatives.

KLÍČOVÁ SLOVA

Sběrnice, M-Bus, měřiče, dálkový odečet, smart meter, automatizace budov, spotřeba energie

KEYWORDS

Bus, M-Bus, meters, remote reading, smart meter, building automation, energy consumption

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SLUKA, F. *Sběrnice M-Bus v automatizaci budov*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 71 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Tomáše Marady, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu literatury.

V Brně dne 15. 5. 2017

.....

Filip Sluka

Obsah

1 Úvod.....	13
2 Vznik sběrnice M-Bus.....	15
2.1 Historie.....	15
2.2 Standardy a normy.....	15
3 Topologie sběrnice.....	17
3.1 Počítačové sítě.....	17
3.2 Topologie sítí.....	17
3.3 Topologie používané pro M-Bus.....	18
3.3.1 Sběrníková topologie pro M-Bus.....	19
3.3.2 Hvězdíková topologie pro M-Bus.....	19
3.3.3 Kombinace topologií pro M-Bus.....	19
4 Protokol sběrnice M-BUS.....	21
4.1 Referenční model ISO-OSI.....	21
4.1.1 Fyzická vrstva.....	21
4.1.2 Spojová vrstva.....	21
4.1.3 Síťová vrstva.....	21
4.1.4 Transportní vrstva.....	21
4.1.5 Relační vrstva.....	21
4.1.6 Prezentační vrstva.....	21
4.1.7 Aplikační vrstva.....	22
4.2 Struktura sítě.....	22
4.2.1 Fyzická vrstva.....	22
4.2.2 Spojová vrstva.....	24
4.2.3 Síťová vrstva.....	29
4.2.4 Aplikační vrstva.....	29
4.3 Příklady rámců.....	31
4.3.1 Inicializace účastníka (SND_NKE).....	32
4.3.2 Aplikační reset (SND_UD).....	32
4.4 Příklady komunikace na sběrnici.....	32
4.4.1 Zahájení komunikace a přenos naměřených dat.....	32
4.4.2 Přenos většího množství dat.....	33
4.4.3 Aplikační reset.....	33
4.4.4 Komunikace v případě chyby.....	34
5 Komponenty sběrnice.....	37
5.1 Měřiče.....	37
5.2 Převodníky.....	37
5.3 Pulsní převodníky.....	38
5.4 M-Bus centrály.....	38
5.5 Opakovače.....	39
6 Bezdrátová sběrnice M-Bus.....	41
6.1 Protokol bezdrátové sběrnice M-Bus.....	41
6.1.1 Režimy rádiového přenosu.....	41
6.1.2 Rádiová komunikace.....	42
6.1.3 Princip komunikace.....	42

6.1.4 Adresování.....	43
6.1.5 Formát paketů.....	43
6.2 Napájení jednotlivých zařízení.....	44
6.3 Komponenty bezdrátové sběrnice M-Bus.....	44
6.3.1 RF modem.....	44
6.3.2 Pulsní převodníky pro Wireless M-Bus.....	45
6.3.3 Opakovače pro Wireless M-Bus.....	45
6.3.4 Koncentrátor.....	45
7 Sběrnice M-Bus v automatizaci budov.....	47
7.1 Automatizace budov.....	47
7.2 Technologie v automatizaci budov.....	47
7.3 Použití sběrnice M-Bus v automatizaci budov.....	48
8 Zhodnocení sběrnice M-Bus.....	49
8.1 Použití sběrnice M-Bus.....	49
8.2 Smart metering.....	49
8.3 Smart metering technologie.....	50
8.3.1 Bezdrátové technologie.....	51
8.3.2 Drátové technologie.....	55
9 Závěr.....	61
10 Seznam použitých zdrojů.....	63
11 Seznam použitých zkratk a veličin.....	67
11.1 Seznam použitých veličin.....	67
11.2 Seznam použitých zkratk.....	67
12 Seznam použitých obrázků.....	71

1 Úvod

M-Bus je v Evropě, obzvláště střední, velice rozšířený standard pro odečet dat z měřičů. Jedním ze stěžejních dokumentů popisujících fungování sběrnice je anglicky psaný *The M-Bus: A Documentation* [2]. Ten se však věnuje pouze protokolu sběrnice i když velice obsáhle. Tato rešeršní práce, nebo alespoň některé její kapitoly, z tohoto dokumentu vychází, ale záměrně se vyhýbá tomu, aby byla pouhým překladem. Z tohoto důvodu v ní nelze najít kompletní popis protokolu, jako je v dokumentu [2]. Při jejím psaní jsem se věnoval jen těm částem, které jsou podle mého názoru potřebné pro získání základního přehledu a pochopení fungování této technologie. Nelze zde najít výčet veškerých informací týkající se komunikace mezi jednotlivými zařízeními, protože by tato práce musela být mnohonásobně rozsáhlejší a byl by to pouhý překlad již existujícího dokumentu. Já jsem se naopak snažil o zachycení pokud možno co nejvíce komplexního pohledu na sběrnici M-Bus, který zahrnuje nejen popis protokolu, ale také typy komponentů, jejich propojení a samozřejmě také popis bezdrátové verze. Práce se také zmiňuje o účelech pro které se M-Bus využívá a popisuje případy ve kterých je vhodné tuto sběrnici použít. To vše je dle mého názoru nezbytné k posouzení sběrnice M-Bus. Pro správné zhodnocení této technologie jsem se také pokusil ji srovnat s dalšími technologiemi, které je možné použít pro sběr dat o spotřebě energií.

Navzdory tomu, že je sběrnice M-Bus často používaná, neexistuje zdroj, který by byl byl pojat dostatečně široce a nezahrnoval vždy jen poznatky pouze z určité oblasti. To byl jeden z důvodů, proč jsem si zvolil tuto technologii jako téma bakalářské práce. Smyslem tohoto dokumentu je seznámit čtenáře se sběrnici M-Bus a nabídnout *ucelený obraz* o této problematice.

Sběrnice M-Bus je technologie, která umožňuje automatický dálkový odečet dat z měřičů a čidel. Od svého vzniku v devadesátých letech byla zamýšlena tak, aby kladla důraz na spolehlivost, jednoduchost a cenovou dostupnost a to i za cenu některých nevýhod, jako je třeba nižší přenosová rychlost. I přesto, že protokol M-Bus nedoznal za už téměř třicet let skoro žádných změn, celá technologie vůbec nezůstala stranou vývoje. Důkazem budiž vznik bezdrátové verze M-Bus s upraveným protokolem. M-Bus tak nezůstává oproti konkurenčním technologiím pozadu a naopak díky svému stáří a tím pádem větší rozšířenosti má proti nim často navrch.

V následujících kapitolách se snažím co nejsrozumitelněji popsat jednotlivé části technologie M-Bus, a to od rozboru způsobu přenosu samotného signálu až po fyzická zařízení, která dohromady tvoří systém používaný v malých domácnostech i rozlehlých budovách s vysokou mírou automatizace.

2 Vznik sběrnice M-Bus

2.1 Historie

Existuje mnoho typů masově rozšířených přístrojů pro průběžné měření stavu a spotřeby, např. wattmetry, elektroměry, průtokoměry, měřiče odběru tepla atd. Na konci 20. století v době digitálních čidel, převládajícího digitálního zpracování a zobrazení dat vyvstala potřeba pokud možno univerzálního měřicího kanálu nebo sběrnice pro přenos dat mezi měřidly a zobrazovacími/vyhodnocovacími systémy. Ale ani v roce 1990 ještě nebyl v praxi zaveden žádný takový standard pro komunikaci s provozními měřicími zařízeními. Ukázalo se, že norma, která by stanovila levný typ sběrnice použitelné i pro bateriově napájená měřidla, je velmi potřebná a užitečná. Bylo jen otázkou času až někdo přijme výzvu a pustí se do práce. Úkolu se chopila univerzita v Paderbornu, jmenovitě Horst Ziegler.

Prof. Dr. Horst Ziegler z Universität Paderborn v Německu ve spolupráci se společnostmi Texas Instruments Deutschland GmbH a Techem GmbH novou sběrnici vytvořili a prosadili v podobě normy. [1]

2.2 Standardy a normy

Spojová vrstva použitá pro M-Bus je poprvé zveřejněna jako standard v roce 1990 pod označením IEC 870-5-1 (Telecontrol Equipment and Systems / Transmission Protocols / Transmission Frame Formats) a další část pak v roce 1992 pod označením IEC 870-5-2 (Link Transmission Procedures). [3]

Stěžejní informace o M-Bus publikuje Ziegler právě v roce 1992 [4]. Proto můžeme roky 1990 až 1992 označit jako dobu zrodu M-Bus. Ziegler spolu s odborníky z výše uvedených společností na vývoji měřicí sběrnice dále pracuje a jejich výsledky pak jsou použity v evropské normě EN 1434-2 a EN 1434-3, která se jako celek zabývá měřicí tepla. Ta je vydána v roce 1997 a popis sběrnice je zatím jen jednou ze součástí normy. O rok později vyšly tyto normy u nás jako ČSN EN 1434-2 a ČSN EN 1434-3. Zatímco spojová vrstva je popsána v normě IEC 870 a aplikační vrstva v normě EN 1434, třetí vrstva, která je u M-Bus definovaná – vrstva fyzická – v té době standardizována nebyla. Za stěžejní dokumenty popisující fungování a parametry nejen této vrstvy se považují dokumenty zveřejňované prof. Zieglerem [2] a jeho spolupracovníky. Tyto dokumenty pocházející z devadesátých let jsou k nalezení na oficiálních stránkách www.m-bus.com a jsou stále platné.

Velká změna ve standardizaci M-Bus byla zahájena v roce 2003, kdy začala po částech vycházet norma EN 13757 (u nás ČSN EN 13757). Tato norma má šest částí a popisuje všechny vrstvy M-Bus (včetně fyzické). Rozdělení na části a jejich popis lze najít v tabulce 1.1. V původních dokumentech z devadesátých let a i poměrně nových dokumentech, které z nich vycházejí, se uvádí, že jsou normované pouze dvě vrstvy a to v jichž zmíněných normách (IEC 870, EN 1434). Tyto zdroje nereflktují existenci normy EN 13757, která vznikla za účelem vytvoření uceleného standardu v němž budou obsaženy všechny informace o M-Bus. Fyzická a spojová vrstva M-Bus jsou popsány v EN 13757-2 (ČSN EN 13757-2) a aplikační vrstva v EN 13757-3 (ČSN EN 13757-3). IEC 870 a EN 1434 jsou sice stále platné, ale norma EN 13757 se na rozdíl od nich týká přímo M-Bus.

Vývoj pokračuje a jako další logický krok přichází i bezdrátová verze sběrnice. První evropská norma zahrnující bezdrátovou část M-Bus nese označení EN 13757-4 vychází v roce

2005. [5]

V tabulce 2.1 nejsou názvy jednotlivých částí normy EN 13757 v některých případech ve shodě s názvy oficiální české normy ČSN EN 13757. Například u části 2 jsem volil v praxi více používané názvy *fyzická* a *spojová* vrstva namísto názvů *fyzikální* a *propojovací*, které uvádí česká norma.

Tab. 2.1: Části normy EN 13757 [6]

Část	Název	Popis	Rok vydání
1	Výměna dat	Popisuje základní komunikaci mezi měřiči a kolektory dat.	2003
2	Fyzická a spojová vrstva	Specifikuje fyzický přenos dat pomocí drátového spojení. Zahrnuje také popis protokolu pro přenos dat.	2004
3	Aplikační vrstva	Popisuje aplikační vrstvu, která umožňuje výměnu dat mezi zařízeními různých výrobců.	2004 (2013)
4	Bezdrátová měřidla	Specifikuje bezdrátovou komunikaci M-Bus, která může být používána spolu s drátovými zařízeními fungujícími podle EN 13757-2. Tato část popisuje fyzickou a spojovou vrstvu.	2005 (2013)
5	Bezdrátový přenos M-Bus	Tato část obsahuje další možnosti směřování pro bezdrátový přenos s účelem dosažení většího dosahu.	2008
6	Lokální sběrnice	Popisuje fyzickou vrstvu rozlohou malé sítě, která obsahuje velmi malé množství měřičů, s účelem dosáhnout nízké spotřeby a nízké pořizovací ceny.	2008

V roce 2012 umírá profesor Ziegler, ale jeho smrt neznamená konec vývoje M-Bus. V roce 2013 vycházejí upravené normy EN 13757-3 a EN 13757-4 [5], které nahrazují své předchůdce. EN 13757-4:2013 definuje mimo jiné nová frekvenční pásma pro komunikaci (169 MHz). Lze předpokládat další vývoj a změny především u bezdrátové verze, kde z důvodu stále větší popularity bezdrátového přenosu a omezené šířky pásma pro něj dochází k obměnám.

3 Topologie sběrnice

3.1 Počítačové sítě

Počítačovou sítí se chápe propojení dvou a více počítačů za účelem výměny informací. Podle rozlehlosti se počítačové sítě dělí na:

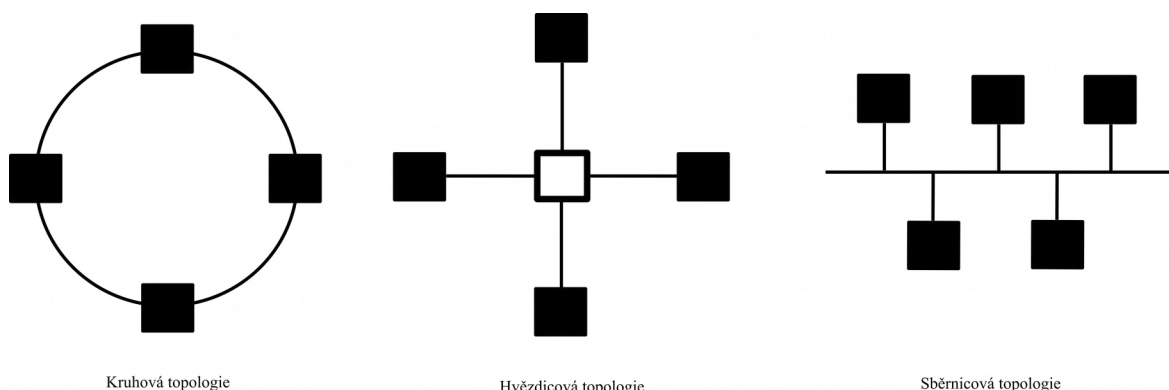
- LAN (Local Area Network)
- MAN (Metropolitan Area Network)
- WAN (Wide Area Network)
- GAN (Global Area Network)

Nejvíce rozlehlá je GAN, která je tvořena velkým množstvím vzájemně propojených počítačů po celém světě. Klasickým příkladem této sítě je internet. Síť typu WAN fungují na území menším než síť GAN, propojují území o velikosti kontinentů. Síť MAN jsou rozlohou výrazně menší než síť WAN. Na území několika kilometrů (města) většinou propojují jednotlivé lokální sítě. Lokální síť LAN je propojení menšího množství uzlů. Typickým představitelem tohoto typu sítě je domácí síť, která obsahuje počítače, tiskárny, servery. Podle toho, jakým konkrétním způsobem jsou sítě typu LAN propojeny, mluvíme pak o různých topologiích.

3.2 Topologie sítí

Ve většině sítí se využívá jedna z následujících tří topologií:

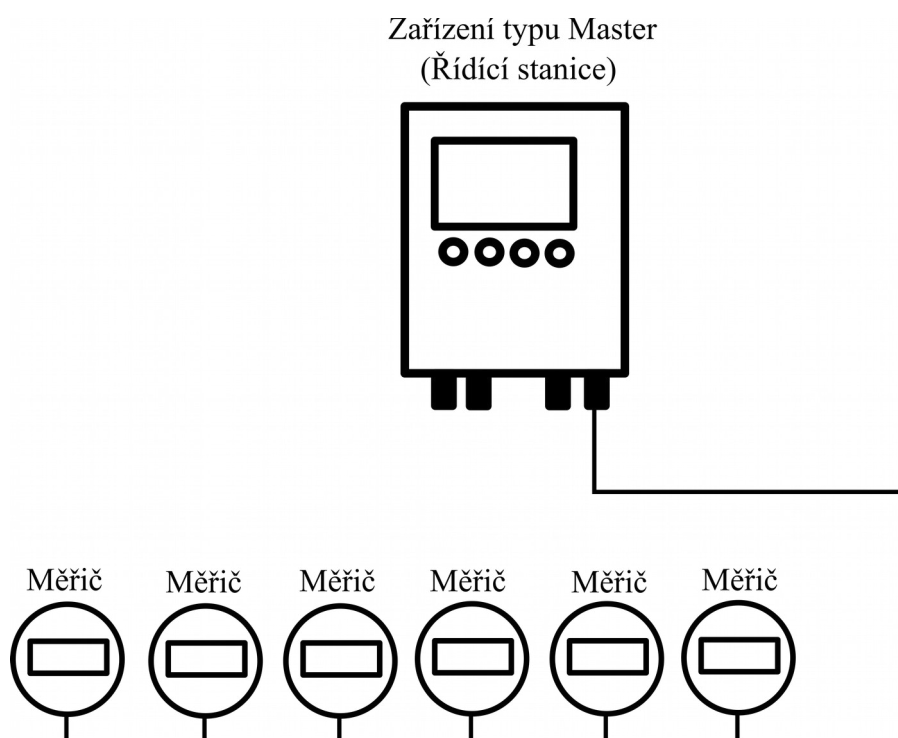
- **Hvězdicová topologie**
Tato topologie se vyznačuje jedním centrálním prvkem, na který jsou všechny ostatní počítače připojeny. Výhodou tohoto zapojení je, že při poruše jednoho prvku (kromě centrálního) síť může dále bez problému fungovat. Pokud však dojde k poruše centrálního prvku, přestane fungovat celá síť. Další nevýhodou je velké množství kabelů potřebné pro vytvoření této topologie.
- **Kruhová topologie**
V tomto zapojení jsou všechna zařízení spojena za sebou do kruhu. Vysílání probíhá vždy jen jedním směrem a prochází vždy skrz každý prvek. Většinou se v této topologii používá tzv. tokenu. Ta stanice, která ho má, vysílá. Až nemá další data k vysílání, token pošle dál. Díky tomu, že komunikace probíhá vždy jen jedním směrem, nedochází ke kolizím. Velkou slabinou tohoto zapojení je, že porucha jednoho prvku (uzlu) znamená vyřazení celé sítě z provozu.
- **Sběrníková topologie**
Všechna zařízení jsou připojena na společnou přenosovou linku. Velkou výhodou jsou nízké náklady na pořízení, protože je potřeba menší množství kabelů. Při selhání jednoho zařízení není sběrnice vyřazena z provozu. Protože sběrnice využívá jediné, pro všechny společné přenosové médium, může vysílat vždy jen jedna stanice, aby nedocházelo ke kolizím.



Obr. 3.1: Topologie počítačových sítí

3.3 Topologie používané pro M-Bus

I přesto, že název celého systému dálkového odečtu měřících zařízení se jmenuje sběrnice M-Bus, sběrnice není jediná topologie, kterou lze použít. Ze tří typů topologií, které byly popsány v předešlé podkapitole, se výrazně nedoporučuje používat jen kruhovou topologii [10]. Její systém, kdy jsou všechny prvky rovnocenné a ve vysílání se pravidelně střídají, nevyhovuje způsobu, jakým probíhá komunikace M-Bus. Ta obsahuje jeden centrální prvek, který rozhoduje, kdo bude vysílat. Hvězdicová a sběrníková topologie tento způsob komunikace podporují. Jednou z možností je také kombinovat hvězdicovou a sběrníkovou topologii [7].



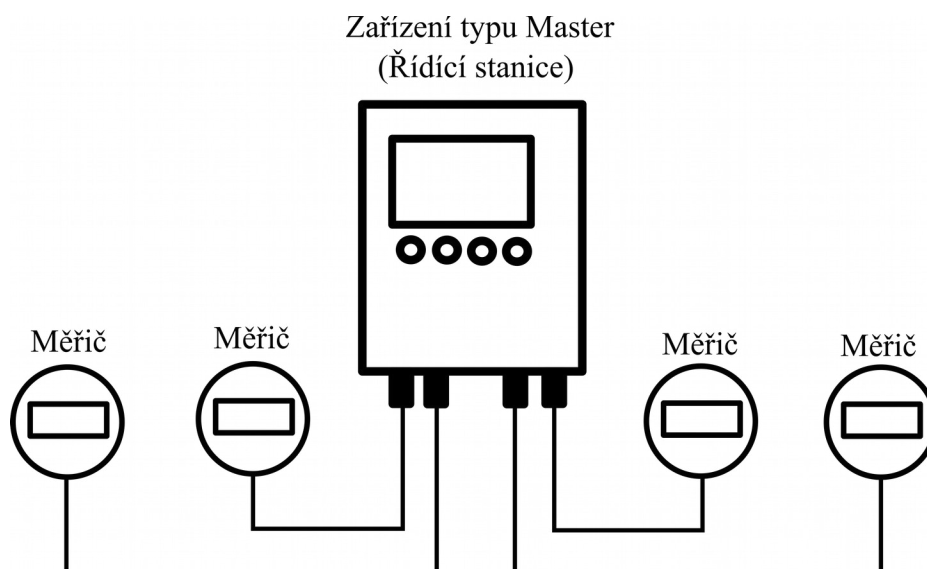
Obr. 3.2: Topologie typu sběrnice

3.3.1 Sběrníková topologie pro M-Bus

Tento typ zapojení je pro M-Bus typický a velice běžný (obr. 3.2). Všechny měřiče jsou připojeny na jedno přenosové médium. Připojení jednotlivých měřičů na sběrnici se nejčastěji provádí pomocí svorkovnic.

3.3.2 Hvězdicová topologie pro M-Bus

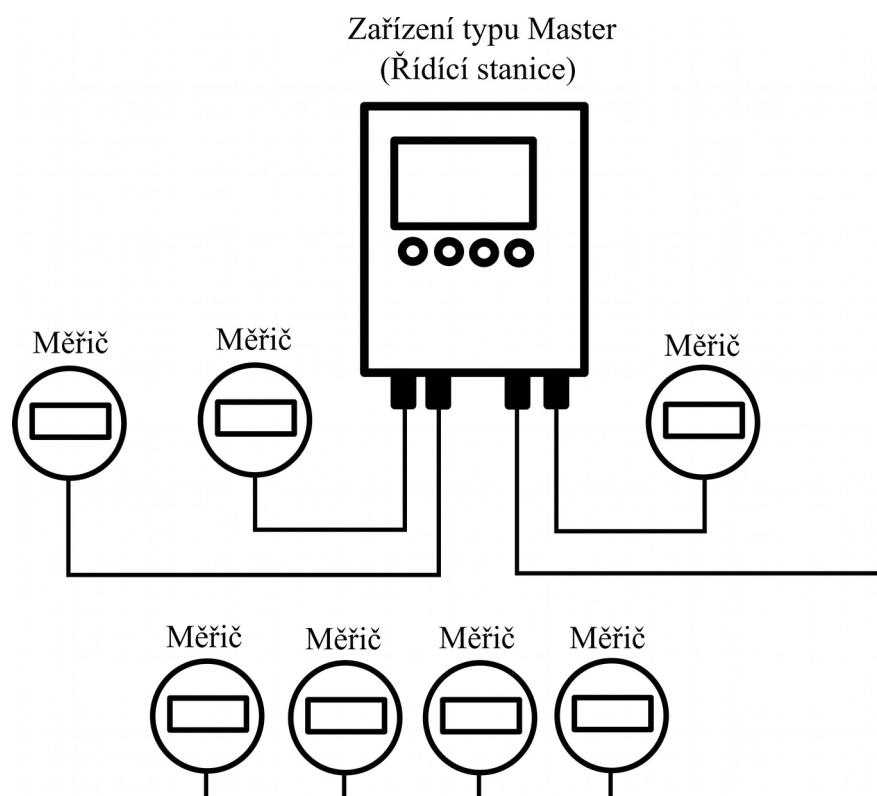
Hvězdicová topologie je jedním z možných propojení měřičů na řídicí stanici. V obr. 3.3 je každý měřič připojen na řídicí stanici vlastním konektorem. Výstupy z řídicí stanice jsou však uvnitř propojeny. Proto komunikace probíhá podobně jako u sběrnice, tzn. Master vysílá zprávy všem podřízeným stanicím a odpovídá vždy jen ta stanice, jejíž adresa byla uvedena ve zprávě. Propojení do hvězdice se chová, jako by každý „paprsek“ byl sběrnici. Hvězdicové zapojení má proti sběrníkové topologii výhodu, že při porušení jednoho kabelu dojde pouze ke ztrátě spojení s jedním měřičem. Způsob spojení do hvězdice je vhodné volit v případě, kdy měřiče a Master od sebe nejsou příliš vzdálené a je jednodušší vést kabel rovnou do řídicí stanice než vytvářet odbočku na sběrnici, která může být místem pro potenciální poruchu. Toto spojení je možné jenom v případě, kdy má řídicí stanice více konektorů.



Obr. 3.3: Hvězdicová topologie použitá pro M-Bus

3.3.3 Kombinace topologií pro M-Bus

V reálných případech, kdy je potřeba propojit velké množství měřících zařízení rozmístěných často velice neuspořádaně, je potřeba s ohledem na náklady, složitost a spolehlivost volit zapojení, která v sobě různě kombinují hvězdicovou a sběrníkovou topologii. Jeden z jednodušších způsobů kombinace dvou topologií je uveden na obrázku 3.4. V tomto případě jsou opět všechny konektory řídicí stanice uvnitř spojeny.



Obr. 3.4: Kombinace hvězdicové a sběrníkové topologie

4 Protokol sběrnice M-BUS

4.1 Referenční model ISO-OSI

Referenční model ISO-OSI je norma vyvinutá Mezinárodní organizací pro normalizaci (ISO), aby byla zajištěna komunikace mezi systémy s rozdílnou architekturou. Norma neuvádí konkrétní provedení jednotlivých systémů, jedná se o abstraktní rozdělení na jednotlivé části s požadovanou funkcí. Model ISO-OSI je rozdělen do sedmi vrstev. Každá vrstva využívá pro své fungování informace vždy z nižší sousední vrstvy.

4.1.1 Fyzická vrstva

Jejím úkolem je zajištění samotného přenosu mezi odesílatelem a příjemcem. Zahrnuje technické řešení problému - např. použitý druh kabelů, jakým způsobem jsou reprezentovány logické jedničky a nuly. [9]

4.1.2 Spojová vrstva

Pomocí služeb fyzické vrstvy zaručuje bezchybný přenos bloků dat – tzv. rámců. Spojová vrstva na rozdíl od fyzické vrstvy musí být schopna interpretovat samotný signál – rozpoznat začátek a konec rámce a v případě porušeného rámce si vyžádat jeho opětovné vysílání. [9]

4.1.3 Síťová vrstva

Síťová vrstva vybírá nejvíce vhodnou trasu přenosu dat v blocích nazývaných pakety po celé trase – od odesílatele až k příjemci. Tento proces se nazývá směrování (routing). Aby vrstva byla schopna zvolit nejlepší trasu, musí mít přehled o topologii sítě. [9]

4.1.4 Transportní vrstva

Výše položené vrstvy zajišťují všechny okolnosti související s přenosem a proto transportní vrstva pracuje jakoby byla přímo spojená s příjemcem/odesílatelem. Bloky dat použité transportní vrstvou se nazývají segmenty nebo datagramy. Transportní vrstva rozděluje data a skládá je do segmentů/datagramů a předává je síťové vrstvě, která z nich udělá pakety. Při příjmu transportní vrstva segmenty/datagramy rozbaluje a skládá data do původního stavu. [9]

4.1.5 Relační vrstva

Relační vrstva vytváří, udržuje a přerušuje spojení – tzv. relace – mezi příjemcem a odesílatelem. Pokud není možné, aby obě stanice vysílaly zároveň, relační vrstva rozhoduje, jakým způsobem se budou stanice ve vysílání střídát – řídí spojení. [9]

4.1.6 Prezentační vrstva

Protože jednotlivé stanice používají k reprezentaci dat rozdílné způsoby je potřeba, aby data byla přeložena do takové formy, kterou je daná stanice schopna zpracovat. O překládání dat,

ale třeba i o jejich šifrování se stará prezentační vrstva. [9]

4.1.7 Aplikační vrstva

Aplikační vrstva je rozhraní mezi uživatelem a systémem. Koncové rozhraní, se kterým přímo pracuje uživatel, ale není součástí aplikační vrstvy. Její součástí je pouze společná část zabývající se přenosem, kterou mají všechny verze rozhraní společnou. [9]

4.2 Struktura sítě

Přenos signálu funguje vždy tak, že vysílaný signál přijímají všechny stanice zároveň. Nevýhodou je, že vysílat může vždy jen jedna stanice.

Tab. 4.1: Vrstvy OSI modelu Sběrnice M-Bus [8]

Vrstva OSI modelu	Funkce	Standard
Aplikační	Struktura dat, typy dat akce	EN 1434-3 EN 13757-3
Prezentační	Nevyužívá se	
Relační	Nevyužívá se	
Transportní	Nevyužívá se	
Síťová	Rozšířené adresování (volitelné)	
Spojová	Parametry přenosu, formát telegramu, adresování, integrita dat	IEC 870 EN 13757-2
Fyzická	Kabel, bitová reprezentace, topologie, elektrická specifikace	EN 13757-2

4.2.1 Fyzická vrstva

Přenos signálu

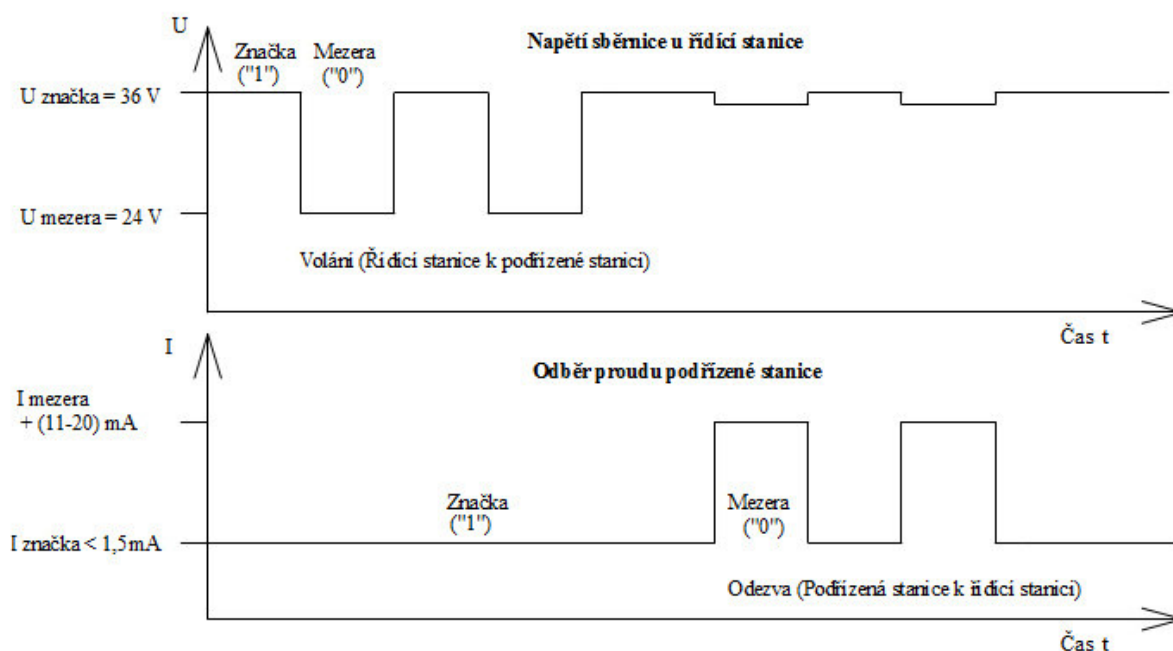
Síť sběrnice M-bus se skládá z jedné řídicí stanice a několika stanic podřízených (někdy také nazývané účastnické nebo řízené stanice). Model počítačové komunikace na sběrnici je Master/Slave – jedna ze stanic je řídicí – Master – a zbylé stanice jsou podřízené řídicí stanici – Slave. [8]

K přenosu signálu mezi stanicemi dochází pomocí změn napětí a proudu na sběrnici. Řídicí stanice pro vysílání dat skokově mění napětí na sběrnici. Logické jedničky (také nazývané „značka“, anglicky Mark) odpovídá napětí 36 V na sběrnici. Pro logickou nulu (také nazývané „mezera“, anglicky Space) sníží napětí na výstupu o 12 V na hodnotu 24 V. [2]

Vysílání dat od podřízených stanic k řídicí je realizováno změnou spotřeby

podřízených stanic – mění se proud na sběrnici. Na sběrnici je stálý proud nepřesahující 1,5 mA, protože sběrnice kromě přenosu signálu také napájí podřízené stanice, to odpovídá logické jedničce. Pokud chce podřízená stanice vyslat logickou nulu, zvýší svou spotřebu tak, aby proud na sběrnici vzrostl o 11–20 mA. [2]

Při jednotlivých skokových změnách – napětí nebo proudu – dochází vždy také ke změně v průběhu druhé veličiny. Např. při skokové změně proudu dochází k menšímu skoku v napětí na sběrnici, což je patrné z obr. 4.1. Změny napětí ovlivňují průběh proudu, ale jenom velice málo. Z důvodu vzájemného ovlivňování napětí a proudu sběrnice není možné, aby vysílala více jak jedna stanice. [2]



Obr. 4.1: Skokové změny napětí a proudu na sběrnici [2]

Kabel

Jako sběrnice se používá standardní dvoudrátový (telefonní) kabel o průměru jádra vodiče 0,8 mm. Je doporučeno, aby byl kabel nestíněný, protože stínění kabelu zvyšuje kapacitu kabelu, což může negativně ovlivnit fungování sběrnice. Pokud se totiž kabel chová jako kondenzátor, změny napětí a proudu jsou mnohem plynulejší a protože jsou jednotlivé stanice citlivé na skokové změny, může dojít k chybám v přenosu. Sběrníkový kabel by měl dosahovat maximální délky 350 m za předpokladu, že je na sběrnici připojeno 250 stanic podřízených. Sběrníkový kabel může dosahovat délky až 1000 m, ale v tom případě musíme snížit počet podřízených stanic. Tato omezení jsou potřebná, protože se sběrnice využívá také k napájení stanic a napětí na ní nesmí klesnout pod hodnotu 12 V. Pokud je kabel příliš dlouhý nebo je na něm připojeno vysoké množství stanic, je celkový úbytek napětí vlivem odporu vodičů příliš vysoký a napájení podřízených stanic prostřednictvím sběrnice nemůže fungovat. Existuje způsob jak lze připojit větší množství měřičů nebo jak navrhnout funkční sběrnici, která má

délku v řádech kilometrů. Zařízení, která to umožňují, se jmenují opakovače. Více o nich je možné nalézt v podkapitole 5.5. Jako přípojky vedlejších sběrnic (odboček) na hlavní sběrnici lze použít kabely s nižším průměrem vodičů. [2][10]

4.2.2 Spojová vrstva

Na sběrnici probíhá přenos signálu, který je poloduplexní a asynchronní. Poloduplexní znamená, že přenos signálu probíhá v obou směrech, ale vždy vysílá právě jedna stanice. Vysílací stanice přenáší signál bez ohledu na stanici přijímající – stanice nejsou synchronizovány – přenos je asynchronní. V synchronním přenosu dochází k vysílání v předem jasně určených časových úsecích; vysílač a přijímač musejí být synchronizovány, aby přijímač poslouchal v době, kdy vysílač vysílá.

Přenos bitů má vždy stejnou strukturu. Na jeho začátku se nachází start bit. Protože na sběrnici je stálá nenulová hodnota proudu a napětí, která představuje logickou jedničku, je potřeba, aby start bit byl logickou nulou a dal se tak rozeznat začátek přenosu. Dále také nesmí docházet k časovým prodlevám mezi jednotlivými bity, protože odmlka pak může být brána jako bit nesoucí hodnotu 1. Po start bitu následuje 8 bitů nesoucí samotnou informaci. Jako první se vysílá nejméně důležitý bit a nejdůležitější jako poslední. To znamená, že se binární číslo vysílá v opačném pořadí než jej čteme. Poté následuje paritní bit. Ten nabývá hodnotu vždy tak, aby výsledný počet jedniček byl vždy sudý (start a stop bit se nezohledňuje). Pokud se tedy jeden bit v přijatém bajtu liší od vyslaného, počet jedniček už nebude sudý. Touto metodou lze však odhalit chybu pouze tehdy, když počet špatně přijatých bitů je lichý. Při změně sudého počtu bitů je totiž výsledný počet jedniček opět sudý.[2]



Obr. 4.2: Schéma bajtů v obou směrech vysílání [2]

Protokol spojové vrstvy je založen na normě IEC 870-5 a používá se formát dat FT 1.2. Ten popisuje několik rozdílných formátů telegramů. [2][8]

Tab. 4.2: Typy vysílaných rámců [2]

Jednotlivý znak	Krátký rámec	Řídící rámec	Dlouhý rámec
0xE5	Start 0x10	Start 0x68	Start 0x68
	Pole C	Pole L = 3	Pole L
	Pole A	Pole L = 3	Pole L
	Kontrolní součet	Start 0x68	Start 0x68
	Stop 0x16	Pole C	Pole C
		Pole A	Pole A
		Pole CI	Pole CI
		Kontrolní součet	Uživatelská data (0-252 bajtů)
		Stop 0x16	Kontrolní součet
			Stop 0x16

Typy rámců

- **Jednotlivý znak**

Skládá se z jediného znaku a to čísla E5 v hexadecimální soustavě (0xE5). Používá se k potvrzení o přijetí rámce. [8]

- **Krátký rámec**

Na první pozici je znak 0x10, za ním následuje pole C a pole A. Kontrolní součet je jeden ze způsobů, jak ověřit, že rámec byl odvysílán a přijat bez chyby. Pomocí daného algoritmu je před vysláním část znaků v rámci sečtena a součet je odvysílán jako součást rámce. Po přijetí je daná část rámce opět sečtena a tento vypočtený součet se porovnává s kontrolním součtem přeneseným jako součást telegramu. Kontrolní součet se v krátkém rámci počítá z polí C a A. Poslední znak je 0x16. [8]

- **Řídící rámec**

Řídící rámec začíná znakem 0x68, po něm následuje pole L, které se opakuje. Další znak je opět 0x68 a po něm následují pole C, A a CI. Rámec je ukončen kontrolním součtem a znakem 0x16. [8]

- **Dlouhý rámec**

Dlouhý rámec je totožný s řídicím rámcem, jediný rozdíl je, že za polem CI obsahuje až 252 bajtů uživatelských dat. [8]

Význam polí

• Pole L

Pole L obsahuje délku rámce mezi druhým znakem 0x68 a kontrolním součtem. V případě *řídícího* rámce obsahuje délku polí C, A a CI. Pak je hodnota pole $L = 3$. V *dlouhém* rámci obsahuje mimo počet bajtů těchto tří uvedených polí ještě počet bajtů uživatelských dat ($L = \text{počet bajtů uživatelských dat} + 3$).[2]

• Pole C

Obsahuje řídící parametry rámce a určuje směr toku dat.

Tab. 4.3: Parametry pole C [2]

Číslo bitu	7	6	5	4	3	2	1	0
Volání (Master to Slave)	0	1	FCB	FCV	F4	F3	F2	F0
Odezva (Slave to Master)	0	0	ACD	DFC	F4	F3	F2	F0

V tab. 4.3 je uvedeno jak jsou jednotlivé bity pole C obsazeny v závislosti na typu přenosu. Bit číslo 7 je rezervován pro budoucí použití a je obsazen v obou případech nulou. Bit číslo 6 udává směr přenosu dat. Bit FCB (frame count bit) je při přenosu střídavě nastavován na 0 a 1. Pokud je potřeba vyslat poslední rámec znovu, vysílací stanice tak učiní a vysílá ho s identickým FCB, přijímací stanici tak přijdou po sobě dva rámce se stejným FCB a kvůli tomu rozezná, že se nejedná o rámec nový, ale rámec již vyslaný. Bit FCV (frame count valid) určuje platnost bitu FCB. Pokud je bit FCV obsazen 0, přijímací stanice bit FCB ignoruje. Pokud stanice nastaví bit ACD (access demand) na jedničku, znamená to, že potřebuje vysílat data s vyšší prioritou (Class 1 data), řídící stanice přestane vysílat a vyšle výzvu k přenosu těchto dat. Pokud stanice nastaví bit DFC (data flow control) na hodnotu 1, indikuje tím, že už není schopna přijímat další data. Bity F0 – F4 slouží k přenosu vlastního účelu zprávy. [2][8]

Pole C tedy nese informaci o typu rámce a jeho účelu. Existuje několik základních variant, které pole C může nabývat a tyto varianty mají daný název a strukturu.

Spojová vrstva využívá pro komunikaci dvě základní procedury[8]:

- SND/CON (Send/Confirm) – Vyslání/Potvrzení
- REQ/RSP (Request/Respond) – Žádost/Odezva

Tab. 4.4: Řídící kódy protokolu sběrnice M-Bus [2][8]

Název	Pole C binárně	Pole C hexadecimálně	Rámec	Popis
SND_NKE	0100 0000	40	krátký	Inicializace účastníka
SND_UD	01F1 0011	53/73	dlouhý/řídící	Odeslání dat podřízené stanici od stanice řídící
REQ_UD2	01F1 1011	5B/7B	krátký	Žádost o běžná (Class 2) data
REQ_UD1	01F1 1010	5A/7A	krátký	Žádost o prioritní (Class 1) data
RSP_UD	00AD 1000	08/18/28/38	dlouhý/řídící	Po žádosti přenos dat od podřízené k řídící stanici

Písmena „F“ v binárním kódu v tab. 4.4 značí bit FCB, který může nabývat dvou různých hodnot aniž by došlo ke změně funkce pole C. Z tohoto důvodu jsou ve třetím sloupci tab. 4.4 uvedena dvě hexadecimální čísla, první z nich odpovídá binárnímu číslu, kde je místo písmene F číslo 0. Stejně je tomu v případě písmen „A“ a „D“, která označují bity ACD a DFC.

Procedury SND/CON

- **SND_NKE:** Poté, co je komunikace na sběrnici přerušena nebo pokud je potřeba komunikaci zahájit, pošle řídící stanice telegram, který má v poli C údaj SND_NKE (viz tab. 4.4). Tím se zajistí, že na řídící i podřízené stanici dojde k shodnému nastavení FCB bitu. Podřízená stanice potvrdí přijetí této instrukce jednoduchým telegramem obsahujícím pouze znak 0xE5. První následující telegram zaslaný řídící stanicí, jehož FCB bit má hodnotu 1 (tzn. kontroluje se hodnota bitu FCB), bude mít hodnotu FCB = 1. Protože podřízená stanice má předchozím повеlem SND_NKE resetovanu hodnotu FCB, vyhodnotí přijatý telegram jako platný s vyhovující kontrolou bitu FCB. Smyslem SND_NKE je resetovat FCB a obnovit tak možnost kontroly přicházejících telegramů s využitím FCB po rozpadu nebo zahájení komunikace. Formát rámce pro SND_NKE je v tabulce 4.9 v podkapitole 4.3.1. [2]
- **SND_UD:** Pro vysílání dat od řídící stanice se využívá telegram s polem C. Při správném přijetí podřízená stanice odpoví znakem 0xE5. Pokud podřízená stanice nepošle odpověď, řídící stanice to chápe tak, že nedošlo ke správnému odeslání a vyslání dat opakuje (viz *Postup v případě chyby v komunikaci*). [2]

Procedury REQ/RSP

- REQ_UD1/REQ_UD2 – Touto procedurou řídicí stanice žádá po podřízené stanici vyslání běžných (REQ_UD2) nebo prioritních dat (REQ_UD1). Pokud byl tento telegram podřízenou stanicí správně přijat, podřízená stanice vysílá vyžádaný typ dat pomocí procedury RSP_UD. Pokud podřízená stanice telegram REQ_UD1/REQ_UD2 nepřijala správně, nevysílá a čeká na opětovné zaslání nebo na reset a opětovné zahájení komunikace (viz *Postup v případě chyby v komunikaci*). [2]

Postup v případě chyby v komunikaci

Existuje několik způsobů, jak lze detekovat, že došlo k chybě v komunikaci na sběrnici:

- pomocí kontroly start, stop a paritního bitu v každém bajtu
- pomocí kontroly start a stop znaku a kontrolního součtu v každém rámci
- v případě dlouhého nebo řídicího rámce pomocí kontroly druhého startovacího znaku, pomocí kontroly shodnosti obou L polí a pomocí kontroly, že počet znaků od druhého startovacího znaku včetně něj do konce je roven hodnotě pole L plus šest

Pokud řídicí nebo podřízená stanice detekuje pomocí zde uvedených postupů chybu v telegramu, nevyšle odpověď. Poté, co stanice, která vysílá, nedostane odpověď po časový úsek, který je stanovena na dobu odpovídající 33 bitům + 50ms, opakuje své vysílání ještě dvakrát. Pokud ani napotřetí stanice nedostane odpověď, následuje čekací doba, která trvá alespoň 33 bitů. Pokud dojde k situaci, že řídicí stanice vyšle požadavek na podřízenou stanici a ta ji bez problému přijme, ale z určitých důvodů dojde ke zpoždění při vysílání odpovědi, řídicí stanice předpokládá, že došlo k chybě a vysílá požadavek znovu, mezitím ale opačným směrem putuje zpožděná odpověď. Na sběrnici však nemůže vysílat dvě a více stanic najednou, proto ani jedna strana nedostane telegram od té druhé. Pokud první stanice díky čekací době dostatečně dlouhou dobu nevysílá, může potom přijmout i zpožděnou odpověď. Pokud se však nedaří správně navázat komunikaci ani po uplynutí čekací doby, řídicí stanice použije SND_NKE. Pokud ani tento reset nepomůže, řídicí stanice se pokouší navázat komunikaci se stanicí, jejíž adresa je další v pořadí. [2]

Celý tento postup je ukázán na obrázku 4.6.

- **Pole A**

Pole A slouží k adresaci rámců. Jeho velikost je 8 bitů. Adresy 0 – 250 jsou přiřazovány podřízeným stanicím. Adresy 254 resp. 255 slouží k přenosu potvrzovaného resp. nepotvrzovaného broadcastu. Potvrzovaný broadcast slouží pouze k testování sítě, protože při jeho vyslání odpovídají všechny podřízené stanice zároveň a dochází ke kolizím. Slouží tedy ke zjištění zda vůbec existuje jakákoliv odezva. Adresa 253 značí adresaci v síťové vrstvě. Adresy 251 a 252 jsou určeny k budoucímu využití. [8]

- **Pole CI**

Pole CI nese informaci, která je součástí aplikační vrstvy. Více informací o tomto poli v podkapitole Aplikační vrstva.

4.2.3 Síťová vrstva

Pokud pro provoz přenosu na sběrnici nestačí 250 primárních adres dostupných ve spojové vrstvě, lze zahrnout vrstvu síťovou. V podstatě se jedná o střídavé přiřazování adresy 253 různým stanicím. Řídící stanice pomocí speciálního rámce uvede podřízenou stanici do vybraného stavu, čímž ji přidělí adresu 253 a to vše do doby, kdy řídící stanice uvede jinou podřízenou stanici do vybraného stavu. [8]

4.2.4 Aplikační vrstva

Základem pro přenos dat v aplikační vrstvě je norma EN 1434-3, ta však zahrnuje přenos dat pouze od podřízených stanic. Přenosu dat od řídící stanice se věnují další podkapitoly. [2]

Pole CI

Toto pole popisuje typ a sekvenci aplikačních dat v rámci. M bit (Mode bit) v poli CI udává v jakém pořadí budou bajty ve vícebajtových datových strukturách. Pokud M bit nese hodnotu 0 (Mode 1), jsou nejdříve přenášeny nejméně důležité bajty vícebajtového záznamu. Pokud M bit nese logickou 1 (Mode 2), jsou přenášeny nejdůležitější bajty jako první. Doporučuje se používat pouze Mode 1.[8]

Tab. 4.5: Kódy pole CI používané podřízenými stanicemi [2][8]

Mode 1	Mode 2	Aplikace
70h		Hlášení o obecných chybách aplikace
71h		Hlášení o stavu varování
72h	76h	Odezva s proměnným formátem rámce
73h	77h	Odezva s pevným formátem rámce

Tab. 4.6: Kódy pole CI používané řídicí stanicí [2][8]

Mode 1	Mode 2	Aplikace
51h	55h	Vysílání dat
52h	56h	Výběr podřízené stanice
50h		Reset aplikace
54h		Synchronizovaná akce
B8h		Nastavení modulační rychlosti na 300 Bd
B9h		Nastavení modulační rychlosti na 600 Bd
BAh		Nastavení modulační rychlosti na 1200 Bd
BBh		Nastavení modulační rychlosti na 2400 Bd
BCh		Nastavení modulační rychlosti na 4800 Bd
BDh		Nastavení modulační rychlosti na 9600 Bd
BEh		Nastavení modulační rychlosti na 19200 Bd
BFh		Nastavení modulační rychlosti na 38400 Bd
B1h		Žádost o čtení celého obsahu RAM
B2h		Vyslání uživatelských dat
B3h		Inicializace testu kalibrace
B4h		Čtení EEPROM
B6h		Spouštění programového testu
90h až 97h		Kódy pro hashování

Rámec s pevnou strukturou

Tento formát rámce není doporučeno využívat, lze jej zastoupit rámcem s proměnnou strukturou dat. Součástí standartu je pouze pro zachování zpětné kompatibility. [8]

Tab. 4.7: Struktura datového pole pro rámec s pevnou strukturou [8]

Identifikační číslo	Čítač přístupů	Status	Médium/Jednotka	Čítač 1	Čítač 2
4 bajty	1 bajt	1 bajt	2 bajty	4 bajty	4 bajty

- **Identifikační číslo**

Jedná se o sériové číslo přiřazené během výroby. Je kódované v osmi BCD číslicích a jeho rozsah tedy je 00000000 až 99999999. [8]

- **Čítač přístupů**

Binární čítač, jehož hodnota se zvýší po každém odeslání datového rámce podřízenou stanicí. [8]

- **Status**

Obsahuje různé informace o stavu čítačů včetně chybových hlášení. [2]

- **Médium/Jednotka**

V této části je obsažen údaj o měřeném médiu a o jednotkách čítačů. [8]

- **Čítač 1, Čítač 2**

Obsahují údaj o množství odebraného média. [8]

Rámec s proměnnou strukturou

Výhodou tohoto rámce je, že jím lze přenášet libovolné množství hodnot, omezených pouze maximální velikostí datového pole. [8]

Tab. 4.8: Struktura datového pole pro rámec s proměnnou strukturou

Pevná hlavička dat	Proměnné datové bloky	MDH	Specifická data výrobce
12 bajtů	Variabilní počet	1 bajt	Variabilní počet

- **Pevná hlavička dat**

Obsahuje informace jako identifikační číslo, údaje o výrobci, verzi.[2]

- **Proměnné datové bloky**

Jejich maximální velikost je 240 bajtů. Skládají se z hlavičky, datového záznamu a bloku dat. [8]

- **MDH**

MDH – Manufacturer Specific Header (Hlavička dat výrobce) udává, že následující data - část **Specifická data výrobce** - jsou určena výrobcem a nemají univerzální platnost pro všechny typy zařízení. [2]

4.3 Příklady rámců

V předešlých podkapitolách je popsána struktura telegramů, ze kterých polí se skládají a jaké hodnoty tyto pole mohou nabývat. V této podkapitole je uvedeno několik ukázek telegramů, které se skutečně používají. V tabulkách jsou ve druhém sloupci uvedeny jen hodnoty, které jsou pro daný typ telegramu vždy stejné (např. adresa je samozřejmě proměnná).

4.3.1 Inicializace účastníka (SND_NKE)

Tímto telegramem se zahajuje nebo znovu navazuje komunikace.

Tab. 4.9: Formát rámce SND_NKE [11]

Bit	Hodnota	Popis
1	0x10	Start
2	0x40	Pole C – Inicializace účastníka (viz tab. 3.4)
3		Pole A – Primární adresa
4		Kontrolní součet
5	0x16	Stop

4.3.2 Aplikační reset (SND_UD)

Popis a použití aplikačního resetu je popsáno v kapitole 4.4.3.

Tab. 4.10: Formát rámce pro aplikační reset [11]

Bit	Hodnota	Popis
1	0x68	Start
2	0x03	Pole L
3	0x03	Pole L
4	0x68	Start
5	0x53	Pole C – Odeslání dat stanici
6		Pole A – Primární adresa
7	0x50	Pole CI – Reset aplikace
8		Kontrolní součet
9	0x16	Stop

4.4 Příklady komunikace na sběrnici

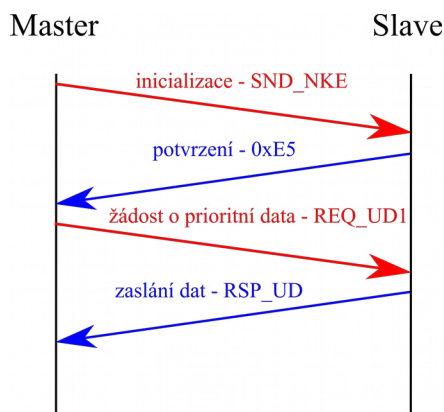
Pro lepší pochopení průběhu komunikace na sběrnici uvedu několik příkladů výměny informací mezi řídící a podřízenou stanicí ve formátu obvyklém pro znázornění signalizace v datových a multimediálních sítích.

V obrázcích jsou telegramy vyslané řídící stanicí značeny červeně a telegramy od podřízené stanice značeny modře. Čárkovaně jsou značeny chybějící odpovědi. Průběh komunikace je značen chronologicky shora dolů.

4.4.1 Zahájení komunikace a přenos naměřených dat

Komunikace začíná procedurou SND_NKE, která resetuje hodnotu bitu FCB. Podřízená

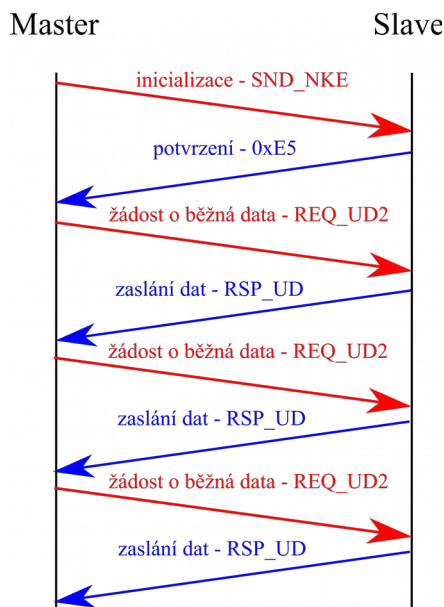
stanice potvrzuje přijetí pomocí jednoduchého znaku 0xE5. Poté řídící stanice žádá vyslání prioritních dat pomocí REQ_UD1, které podřízená stanice následně vysílá. Řídící stanice přijetí dat nepotvrzuje.



Obr. 4.3: Zahájení komunikace a přenos dat

4.4.2 Přenos většího množství dat

Pokud má podřízená stanice větší množství dat, které není možné poslat v jediném rámcu a je požádána řídící stanicí o jejich vyslání, rozdělí data do více rámců. Tyto telegramy obsahují informaci o tom, že data byla rozdělena a řídící stanice svoji výzvu o vyslání dat opakuje do té doby, než přijme rámec s daty, který obsahuje informaci o tom, že více dat už podřízená stanice nemá. [12]

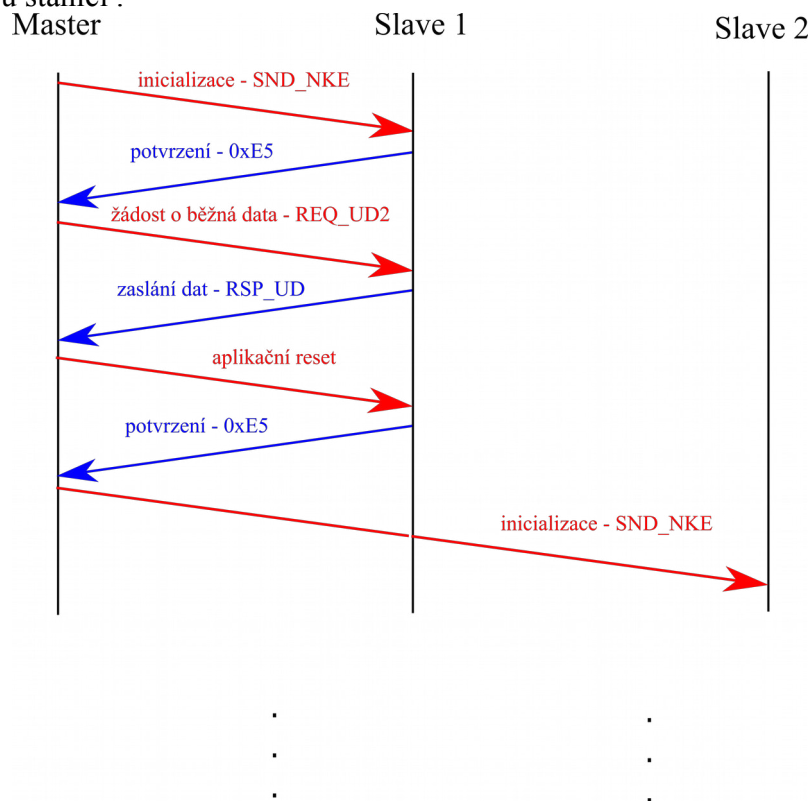


Obr. 4.4: Průběh komunikace při vysílání většího množství dat.

4.4.3 Aplikační reset

Pomocí aplikačního resetu si řídící stanice může specifikovat typ dat, které si přeje přijímat. Další využití aplikačního resetu je zobrazeno na obr. 4.5. V případě, že podřízená stanice vysílá data rozdělená do více rámců a řídící stanice potřebuje vysílání podřízené stanice

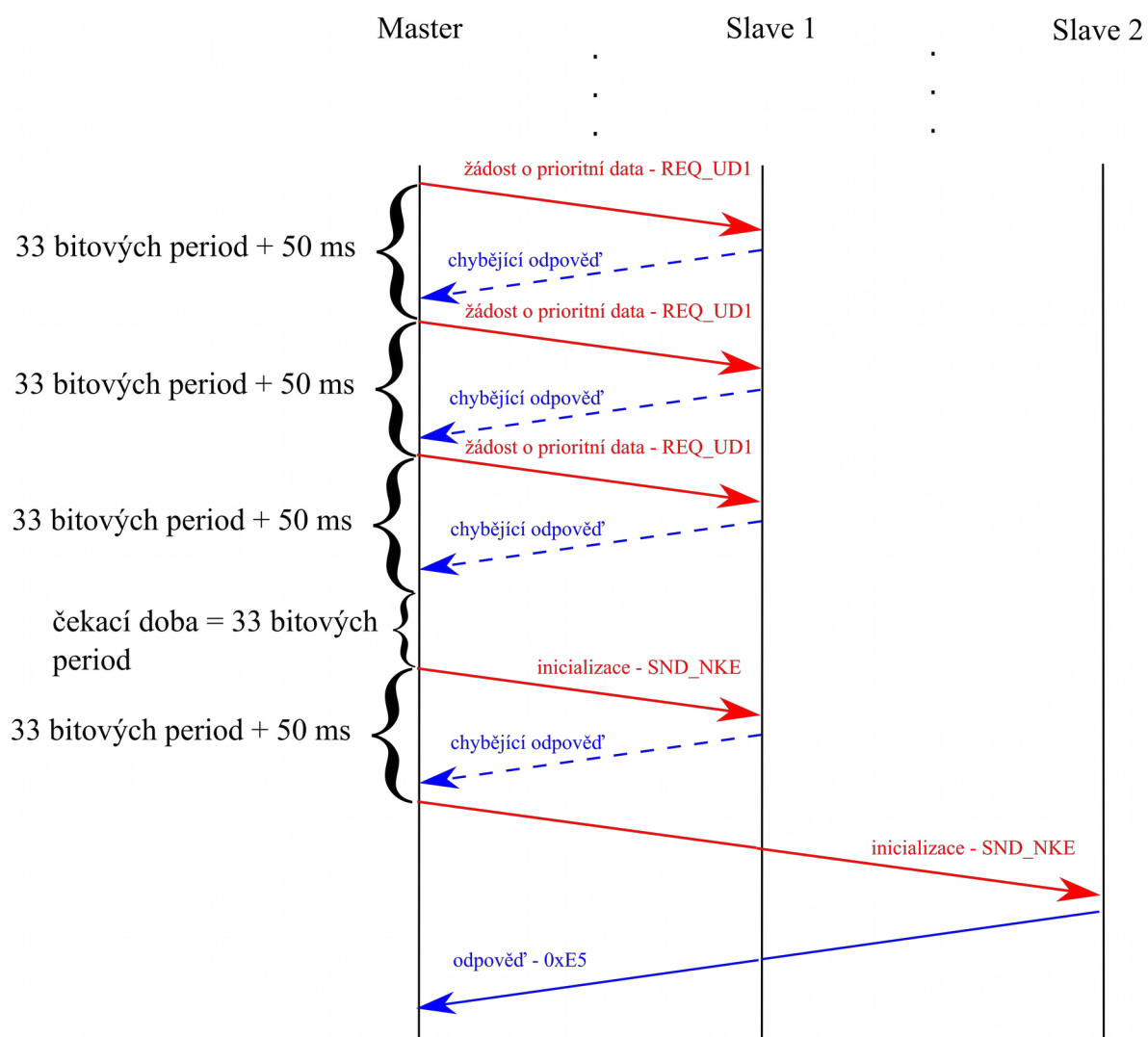
ukončit, vyšle řídicí stanice místo žádosti o další data (jako v obr. 4.4) aplikační reset [2]. Podřízená stanice aplikační reset potvrdí a čeká dokud není znovu vyzvána řídicí stanicí. V případě, který je ilustrován v obrázku 4.5 je důvodem k přerušení vysílání potřeba získat důležitější data od jiné stanice. Po zastavení komunikace s první stanicí je tedy navázáno spojení s druhou stanicí.



Obr. 4.5: Přerušení vysílání pomocí aplikačního resetu

4.4.4 Komunikace v případě chyby

Pokud dojde k přerušení spojení mezi stanicemi, postupuje se jak již bylo popsáno v kapitole 4.2.2 v části *Postup v případě chyby v komunikaci*. V obrázku 4.6 jsou čárkovaně značeny odezvy, které by probíhaly v případě neporušeného spojení, ale v tomto případě zcela chybí. V dolní části diagramu je vidět, že řídicí stanice navazuje spojení s druhou podřízenou stanicí, když od první nepřišla ani po opakované výzvě odpověď.



Obr. 4.6: Komunikace v případě přerušeného spojení

5 Komponenty sběrnice

5.1 Měřiče

Jedním ze základních předpokladů pro správně fungující komunikaci po sběrnici M-Bus je, aby jednotlivé měřiče a snímače byly vybavené rozhraním kompatibilním s komunikací na této sběrnici. Pro velkou část měřičů, které nejsou tímto rozhraním vybaveny, je možné je dovybavit speciálním modulem nebo M-Busovou kartou. Na rozhraní měřiče je však možné připojit pouze jedno odečítací zařízení. Takže v případě, že kromě lokálního použití např. pro řízení systému budovy využívá rozhraní měřiče pro své vlastní odečty ještě i distributor (např. teplárny, plynárny,...), je potřeba použít měřič, na který lze připojit více karet nebo použít M-Bus splitter. Ten zajišťuje funkčnost sběrnice i se dvěma řídicími stanicemi. [13][14]

Další možností je také vybavit měřič pulsním snímačem. Za pomoci pulsního převodníku (např. typ AEW) lze tento signál zpracovat a posílat data už po sběrnici.[13][14]

5.2 Převodníky

Nedělitelnou součástí je převod dat ze sběrnice na rozhraní, které je schopno přijmout výpočetní zařízení (počítač, PLC). Používá se převod na sériovou linku RS-232, RS-485 nebo Ethernet. V dnešní době už samozřejmě převod na Ethernet postupně zcela vytlačuje převod na sériovou linku. Po převodu na sériovou linku probíhá sice komunikace nadále protokolem M-Bus, ale nejedná se už o fyzickou vrstvu této sběrnice [14]. To například znamená, že význam proměnných nebo adresování zůstávají po převodu zachovány, ale způsob přenosu signálu, který na sběrnici M-Bus probíhá pomocí skokových změn proudu a napětí, se liší.

Převodníky samotnou sběrnici napájejí a plní také funkci řadiče - řídí komunikaci po sběrnici. Nabídka převodníků na trhu je rozmanitá a liší se základními parametry jako je cena, rozhraní na výstupu a především maximální počet měřičů (viz tabulka 5.1). Další důležitou vlastností převodníku je, zda M-Bus je od všech dalších obvodů (např. napájení, sériová linka) galvanicky oddělen. Pokud M-Bus galvanicky oddělen není, dochází na sběrnici k rušení, které neovlivní funkčnost sběrnice jen v případě pokud je na ní připojen malý počet měřičů. Pro většinu galvanicky neoddělených převodníků se maximální počet měřičů pohybuje kolem 10. Existují však převodníky na které lze připojit několik desítek měřičů, to se však značně promítá na jejich ceně. Pokud je sběrnice projektována na větší počet měřičů, jednoznačně se doporučuje galvanicky oddělený převodník. Převodník, který je použit, by tedy ideálně měl mít vyvážené jednotlivé parametry tak, aby konkrétnímu zapojení sběrnice co nejlépe vyhovoval.[13][14]

Na obrázku 4.1 je vyobrazeno schématické zapojení, kde jako zařízení typu master je převodník. Červenou barvou je značena fyzická vrstva sběrnice M-Bus.

Tab. 5.1: Příklady některých převodníků [14]

Typ	Výrobce	Rozhraní	Galvanické oddělení	Maximální počet měřičů	Přibližná cena [Kč]
EthMBus-XL100	Juraj Čaplický -Elektronika	Ethernet	ano	100	5600
PiiGAB 810/60	Papouch s.r.o.	Ethernet	ne	60	7000
M096	Domat Contol System s.r.o.	RS-232	ano	60	5000
DM-MB2ET/A	AMiT	Ethernet	ne	3	4000
SLC-31	Elsaco	RS-232	ano	20	3000

5.3 Pulsní převodníky

Pokud je měřič vybaven pulsním snímačem, vyslaný impuls vždy představuje určitý počet jednotek. V případě měření spotřeby vody tedy jeden impuls může představovat například 10 litrů. Pro správné fungování celé sběrnice je tedy potřeba, aby pulsní převodník byl správně nastaven a reprezentoval každý impuls jako správný počet správných jednotek. Dále je také potřeba zkontrolovat, že převodník je schopen zpracovat pulsy z měřiče při jejich maximální frekvenci. [14]

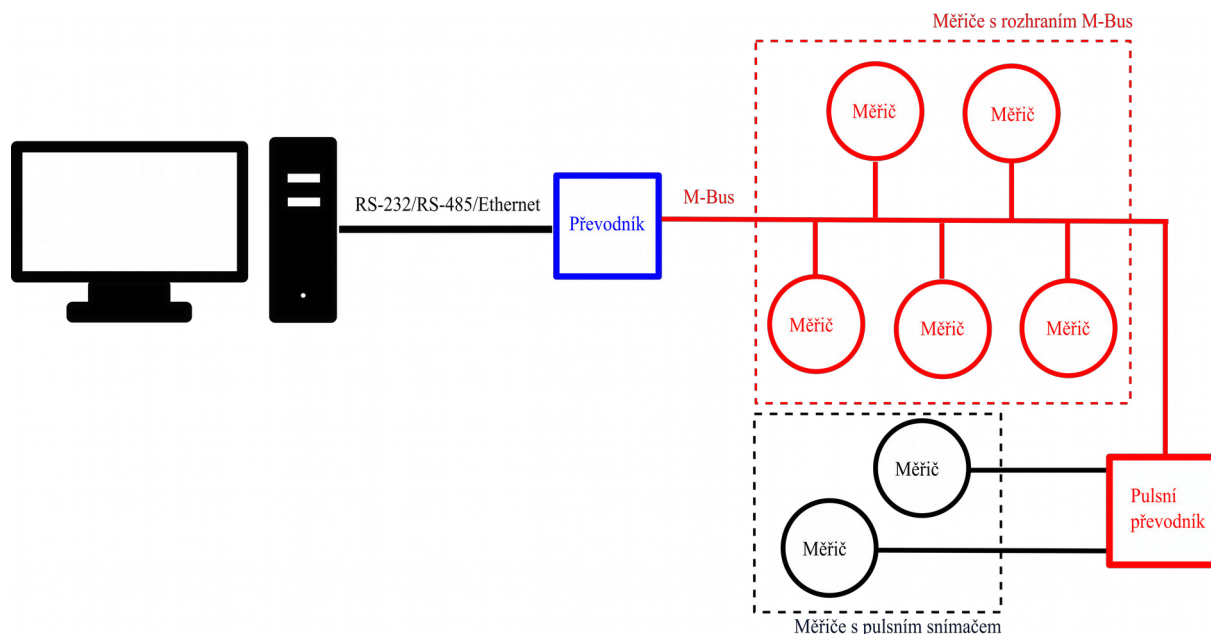
Při nastavení snímače na měřiči je tedy vhodné znát předpokládanou průměrnou a maximální hodnotu spotřeby. Protože pokud je nastaveno velmi malé množství jednotek na jeden impuls, může při větší spotřebě dojít k tomu, že snímač vysílá velké množství impulsů v krátkém časovém odstupu (rychlý puls) a převodník s nedostatečnou citlivostí může chápat více impulsů jako jeden. Naopak v případě, že snímač vysílá impulsy představující velké množství jednotek jen jednou za dlouhý časový úsek, dojde ke ztrátě aktuálního přehledu o spotřebě. V obou případech je dopad na přehled o spotřebě negativní a celé měření pozbývá smyslu.

Na obrázku 5.1 jsou dva měřiče vyznačené černou barvou, které jsou vybaveny pulsními snímači. Ty jsou přivedeny na pulsní převodník, který se z hlediska sběrnice chová jako dva nezávislé měřiče s vlastními adresami. [14]

5.4 M-Bus centrály

Převodník není schopný samostatně řídit komunikaci na sběrnici, proto je připojen na počítač nebo PLC. Jinými slovy pouze „tlumočí“ příkazy pro sběrnici a celé fungování sběrnice je závislé na výpočetním zařízení, které je s převodníkem spojeno. Proto je v mnoha případech lepší nahradit převodník dražší centrálou M-Bus. Ta je schopna samostatně řídit celou sběrnici a ukládat data z měřičů do své paměti. Dále lze centrálu programovat – např. jak často odcítat údaje z měřičů apod. Programovat lze samotnou centrálu nebo naprogramování lze učinit prostřednictvím počítače, který je na centrálu připojen. Rozdíl od

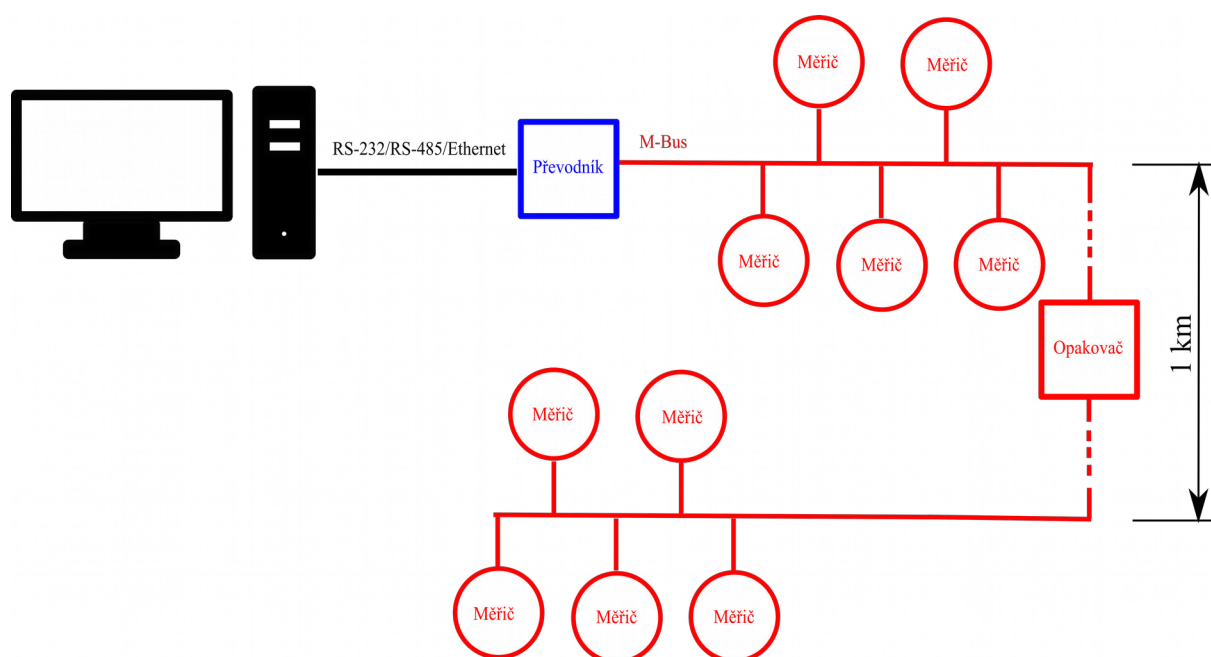
zapojení s převodníkem je ten, že počítač neřídí celou sběrnici, pouze centrále určuje, jak má sběrnici řídit, respektive vysílá informace o změně v řízení a také odečítá naměřená data, která jsou uložena v centrále. Centrálu lze spojit s počítačem pomocí sériové linky (RS-232/RS-485) nebo u novějších centrál pomocí USB.[8][13]



Obr. 5.1: Schéma zapojení sběrnice M-Bus s převodníkem

5.5 Opakovače

V případě, kdy je potřeba mít rozlehlou sběrnici s větším počtem měřičů, je potřeba použít opakovač. Jedním z hlavních problémů rozlehlé sběrnice je potřeba napájet všechny měřiče skrz sběrnici. Pokud je sběrnice rozlehlá nebo je na ni připojeno velké množství měřičů, jedno zařízení (řídící stanice) není schopno plnit napájecí funkci. Tento problém lze řešit pomocí opakovače, který má vlastní zdroj a pomáhá tak napájet část sběrnice (viz obr. 5.2). Většina opakovačů plní dvě funkce. První je funkce opakovací, která umožňuje na sběrnici připojit řádově desítky dalších zařízení typu slave. Druhá funkce je zesilování signálu v případě, že vzdálenost mezi řídící stanicí a nejdlejšími podřízenými stanicemi je příliš velká. V obou případech se opakovač chová vzhledem k řídící stanicí jako podřízená stanice (Slave). Pro měřiče zapojené za opakovačem se opakovač chová jako řídící stanice (Master). Opakovačem lze získat funkční sběrnici, jejíž délka je v řádech kilometrů. V dnešní době je možné se běžně setkat se zařízeními, která fungují jako M-Bus centrála (zařízení typu Master) a zároveň je lze zapojit jako opakovač. Podle typu pak umožňují některé stanice připojit až čtyři opakovače na jednu sběrnici a tím získat sběrnici s až 1250 měřicími zařízeními (250 měřičů na jeden Master).[13][15]



Obr. 5.2: Schéma zapojení s opakovačem

6 Bezdrátová sběrnice M-Bus

Počátek sběrnice M-Bus sahá do začátku devadesátých let. Od té doby prošla celá výpočetní technika mnoha změnami, které se samozřejmě promítly i do technologie sběrnice. Jednou z velkých změn bylo rozšíření o bezdrátový přenos dat v roce 2007 [16]. Bezdrátový přenos umožnil značné zjednodušení instalace a provozu. Tím došlo k pozitivnímu dopadu nejen na cenovou dostupnost.

6.1 Protokol bezdrátové sběrnice M-Bus

Bezdrátový M-Bus se skládá z měřících zařízení a tzv. dalších zařízení. Mezi ně patří hlavně koncentrátory, které v bezdrátové sběrnici představují řídicí stanici (Master). Popis protokolu bezdrátové sběrnice M-Bus lze najít v normě ČSN EN 13757-4. Tato norma konkrétně definuje[16]:

- Parametry rádiového přenosu
- Formát rámce paketů
- Přístupové metody

6.1.1 Režimy rádiového přenosu

Bezdrátový M-Bus využívá pět režimů rádiového přenosu. Jsou to R, S, C, T a N, které se liší přenosovou rychlostí a typem modulace. Režim N je nejnovější ze zde uvedených. Režimy T a C jsou víceméně totožné, ale tzv. kompaktní režim C ve srovnání s T potřebuje k přenosu stejných dat menší množství energie [25]. V tabulce 6.1 jsou uvedeny dva typy komunikace – jednocestná a dvoucestná. Všechny režimy (kromě režimu R) totiž mohou využít dva typy komunikace. Jednocestná znamená, že data jsou vysílána pouze od měřičů směrem ke koncentrátorům. U dvoucestné komunikace lze vysílat i data měřičům. [16]

Tab. 6.1: Režimy komunikace bezdrátové sběrnice M-Bus [16][17]

Přenosová rychlost	Jednocestná komunikace	Dvoucestná komunikace
4,8 kb/s	neexistuje	R2
32,768 kb/s	S1/S1m	S2
100 kb/s	T1	T2
100 kb/s	C1	C2
20 kb/s	N1	N2

Volba režimu v konkrétním případě se určuje podle účelu, který by měla sběrnice plnit. Dvoucestná komunikace umožňuje kromě odečtu hodnot z měřičů také ovládání jejich akčních členů – např. ventilů. V dvoucestné komunikaci také může vysílání dat probíhat ve formě žádost/odezva [18], která je běžná pro drátovou verzi sběrnice. Ale u bezdrátové M-Bus se využívá upravená forma specifická pro úspornou bezdrátovou verzi, kdy spojení zahajuje podřízená stanice – měřič (viz podkapitola 6.2). To jaký režim rádiového přenosu zvolit závisí především na rychlosti. V případě, kdy jsou data z měřičů odečítána méně často – např. jednou za den, volí se většinou režim přenosu s nižší přenosovou rychlostí. Pokud je potřeba vysílat větší množství častěji (několikrát za hodinu), volí se režim s vyšší rychlostí (T,C),

protože poté jsou data přenesena rychleji a dosáhne se tak nižší spotřeby el. energie u vysílače. To je důležitý faktor, protože většina bezdrátových měřičů je napájena bateriově. [16]

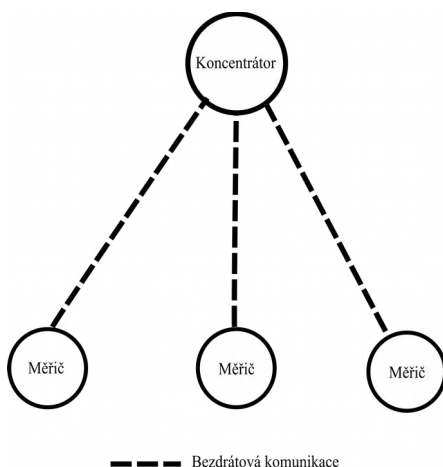
Režim R2 se využívá v případě, kde je nutné přenášet menší množství dat na větší vzdálenost. Vhodnost tohoto režimu pro přenos na větší vzdálenost je dán vyšší citlivostí komunikačního rozhraní, nízkou přenosovou rychlostí a také tím, že tento režim umožňuje volit pro přenos jeden z deseti kanálů, zatímco u režimů S a T jsou kanály již předvoleny. U R2 si tak lze vybrat kanál, na kterém je rušení nejmenší. [16]

6.1.2 Rádiová komunikace

Rádiová komunikace probíhá na 12 kanálech v pásmu ISM (Industrial, Scientific and Medical), jehož využití je bezplatné. Režim S používá kanál na frekvenci 868,3 MHz, režimy C a T využívají kanály na frekvenci 868,95 MHz a režim R2 deset kanálů na frekvenci $868,3 + n \cdot 0,06 \text{ MHz}$, $n = 1 \dots 10$. Režim N pracuje na frekvenci 169 MHz. Výhodou pásma okolo frekvence 860 MHz je lepší průchodnost skrz stěny než je tomu u bezdrátového přenosu s frekvencí 2,4 GHz (Wi-Fi) [25]. U režimu N je průchodnost přes překážky ještě lepší, ale to za cenu nižších přenosových rychlostí. Každý režim má několik požadavků, kromě požadavku na správný kanál to může být třeba požadavek na toleranci přenosové rychlosti nebo požadavek na přesnost frekvence. Při použití správné antény pak lze dosáhnout komunikačního dosahu až 600 m v případě, že mezi vysílačem a přijímačem nejsou žádné překážky. [16]

6.1.3 Princip komunikace

Struktura bezdrátové sítě M-Bus je hvězdicovitého typu a je tvořena měřicími zařízeními, které komunikují s jednou centrální jednotkou, kterou je nejčastěji již zmíněný koncentrátor (viz obr. 6.1). Koncentrátor představuje řídicí stanici (Master) a měřicí zařízení představuje stanici podřízenou (Slave). V jednocestné komunikaci koncentrátor pouze naslouchá, v dvoucestné komunikaci může vysílat příkazy podřízeným stanicím, ale komunikaci nikdy nezahajuje. K tomuto účelu má koncentrátor vyhrazený předem jasně daný časový úsek během kterého mu budou podřízené stanice naslouchat. Tento časový úsek zpravidla následuje okamžitě po tom, co podřízená stanice skončí své vysílání. [16]

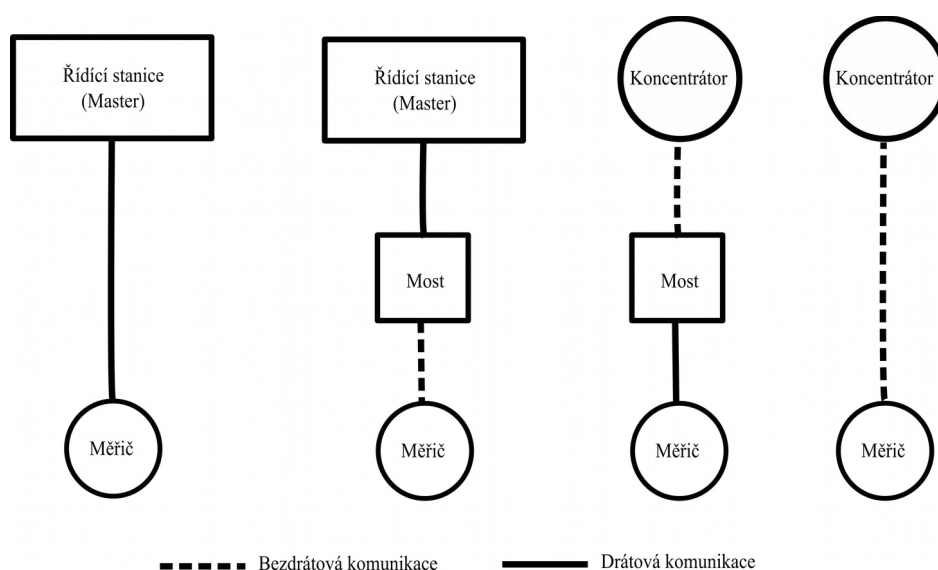


Obr. 6.1: Propojení měřicích zařízení s koncentrátorem [16]

6.1.4 Adresování

V bezdrátové verzi sběrnice M-Bus mají přidělené adresy pouze klientské jednotky (měřiče/snímače) a ty používají při vysílání i při příjmu[16]. Je vhodné, aby byl každý koncentrátor vybaven seznamem adres, se kterými může komunikovat. Jinak by mohlo dojít k situaci, kdy by mohl koncentrátor přijímat data z měřičů patřící do jiné sběrnice. To je problém především velmi rozlehlých bezdrátových sběrnic s velkým množstvím měřičů. [16]

Většinou se však bezdrátová sběrnice používá pouze jako doplněk drátové verze. Kombinací těchto dvou verzí (drátové a bezdrátové) lze totiž dosáhnout dobré funkčnosti a výhodné ceny. Pro některé části sběrnice je výhodnější použít drátovou verzi, v případě, že by si vedení kabelů k některým měřičům vyžádalo stavební úpravy, je lepší použít bezdrátovou technologii. Tato kombinace dvou technologií se realizuje pomocí tzv. mostů (angl. Bridge). Jejich použití je patrné na obrázku 6.2. [16]



Obr. 6.2: Typy propojení prvků sběrnice a použití mostů

6.1.5 Formát paketů

Formát paketů (rámců) používaných pro bezdrátovou komunikaci se částečně liší od paketů pro drátovou komunikaci.

Tab. 6.2: Formát paketu (rámce) pro bezdrátovou komunikaci [16]

Název	Velikost
Délka	1 bajt
Pole C	1 bajt
Identifikace výrobce	2 bajty
Adresa – Pole A	6 bajtů
Pole CI	1 bajt
Aplikační vrstva	n bajtů
RSSI	1 bajt

Délka – Obsahuje informaci o paketu

Pole C – (angl. Command field – řídicí pole) – jeho funkce a struktura je stejná jako u drátové komunikace (viz 4.2.2)

Identifikace výrobce – Anglicky Manufacturer ID (ManID); nese informaci o výrobci – konkrétně jeho ID číslo

Pole A – Nese unikátní komunikační adresu měřiče[16]

Pole CI – Anglicky Command Instruction; má stejnou funkci jako u drátového verze sběrnice (viz 4.2.4)

Aplikační vrstva – Tato část nese samotná data a struktura tohoto pole je stejná jako u drátové sběrnice (viz 4.2.4). Délka tohoto pole je proměnná.

RSSI – Anglicky Received Signal Strength Indicator – Indikátor síly přijímaného signálu; tato část paketu není povinná a nese informaci o síle signálu.

Tento paket je následně zašifrován (AES-128) a poté vzduchem přenášen. Při použití bezdrátového tunelování přenosu mezi dvěma modemy je možné vynechat některé části paketu (adresa, identifikace výrobce,...) a dojde tak ke zjednodušení paketu (tab. 6.3), kde RSSI je opět volitelná část. [16]

Tab. 6.3: Formát paketu při bezdrátovém tunelování [16]

Název	Velikost
Délka	1 bajt
Pole CI	1 bajt
Aplikační vrstva	n bajtů
RSSI	1 bajt

6.2 Napájení jednotlivých zařízení

Pro eliminaci nákladů v podobě pokládání kabelů je vhodné, aby měřicí jednotky (vodoměry, teploměry) byly napájeny bateriově. Pro dosažení co největší výdrže baterií je potřeba snížit spotřebu na minimum. Toho se dosahuje pomocí přechodu do nízkopříkonového módu (anglicky sleep mode) v době, kdy nedochází k žádnému vysílání. Z tohoto důvodu vysílání zahajují vždy měřicí jednotky na rozdíl od drátového M-Bus. Pomocí těchto opatření pak lze dosáhnout výdrže baterií až 20 let [16]. V úsporném režimu je spotřeba tak nízká, že baterie je limitována jen svojí životností. [16]

6.3 Komponenty bezdrátové sběrnice M-Bus

6.3.1 RF modem

Pro fungování Wireless M-Bus je nezbytné, aby měřiče byly schopné komunikovat s ostatními členy sběrnice. To především vyžaduje schopnost rádiového přenosu. Toho se většinou dosáhne pomocí RF modemu. RF modem je propojen s mikro-kontrolérem (MCU) v měřiči pomocí UART (asynchronní sériová komunikace). Funkce RF modemu nejčastěji

jsou šifrování a následné vyslání dat nebo jejich příjem a dešifrování. MCU rozhoduje jaký režim přenosu si má RF modem nastavit (S, T, C, R), kdy se má modem uvést do úsporného režimu apod. Lze se setkat i s tím, že prvek pracující jako koncentrátor je také vybaven RF modem a jeho schopnost rádiového přenosu je závislá na modemu. [16]

6.3.2 Pulsní převodníky pro Wireless M-Bus

Podobně jako u klasické drátové sběrnice M-Bus se lze i u bezdrátové verze setkat s pulsními převodníky. Ty jsou schopny pulsy z měřičů převádět na formu běžnou pro Wireless M-Bus a poté je vzduchem přenášet.

6.3.3 Opakovače pro Wireless M-Bus

V případě, že je použita k přenosu dat z měřičů bezdrátová technologie a síla signálu není dostatečná (přenos na velkou vzdálenost, velké množství překážek,..), je možné použít opakovač, který zajišťuje zesílení signálu a zlepšuje tak dosah na který lze vysílat.

6.3.4 Koncentrátor

Koncentrátor je ústřední prvek, který shromažďuje data z většího počtu měřících zařízení. Podle typu koncentrátoru je pak nakládáno i s přijatými daty. Některé koncentrátory data ukládají do vlastní paměti a ty pak podle možností posílají dál. Například mohou být vybavené připojením typu Ethernet a všechna získaná data se snaží co nejdříve uložit na FTP server. Další rozhraní, na kterých jsou schopny koncentrátory komunikovat, jsou sériové linky RS-232/RS-485 a USB.

7 Sběrnice M-Bus v automatizaci budov

7.1 Automatizace budov

Vývoj moderních technologií se promítl i do projektování staveb a rekonstrukcí budov. Zejména v posledních letech je naprosto nepředstavitelné, aby nové administrativní a tovární budovy nevyužívaly moderních technologií. Tyto technologie mají za úkol monitorovat a řídit stav objektů. Obor, který se touto problematikou zabývá, se nazývá automatizace budov. V automatizovaných budovách lze většinou najít několik technologických systémů, které většinou monitorují a řídí určitou část zařízení a pro komunikaci používají různých protokolů. Jedním takovým systémem je i M-Bus, který zajišťuje sběr dat z měřičů. V případě, kdy je těchto systémů v budově více, je snahou je integrovat. To znamená docílit, aby si tyto systémy mezi sebou předávaly informace a proces řízení budov tak byl ještě lepší. Například systém vytápění může ovládat vytápění místností v závislosti na informacích přijatých ze systému, který kontroluje vstup osob do budovy. Vytápění kanceláře se tak zapne v okamžiku, kdy zaměstnanec přiloží identifikační kartu k terminálu na vrátnici při vstupu. Tímto způsobem lze dosáhnout efektivního vytápění. Pomocí integrace více systémů lze dosáhnout automatického řízení budovy, které by jen za použití lidské práce nebylo možné. [19]

Systémy běžně používané v budovách jsou například: ovládání osvětlení, elektronická kontrola vstupu (EKV), elektronický zabezpečovací systém (EZS), elektronická požární signalizace, monitoring výtahů, odečty energií, vytápění. Mezi nejčastěji používané technologie patří: EIB/KNX, Modbus, LON, BACnet, M-Bus, OPC a SNMP. Nejjednodušším způsobem jak propojit tyto technologie, které používají odlišné protokoly, je propojit je do řídicího počítače obsahujícího systém správy budov – BMS (z angl. Building Management System). Řídicí počítač je vybaven potřebnými převodníky a adaptéry, aby byl schopen komunikovat se systémy i přes odlišnost jejich protokolů. Řídicí počítač poskytuje grafickou vizualizaci všech systémů na něj připojených. Další možností je použít pro integraci systémů regulátor. Příklad možného propojení a spolupráce různých systémů (včetně M-Bus) je na obrázku 7.1 [20]

7.2 Technologie v automatizaci budov

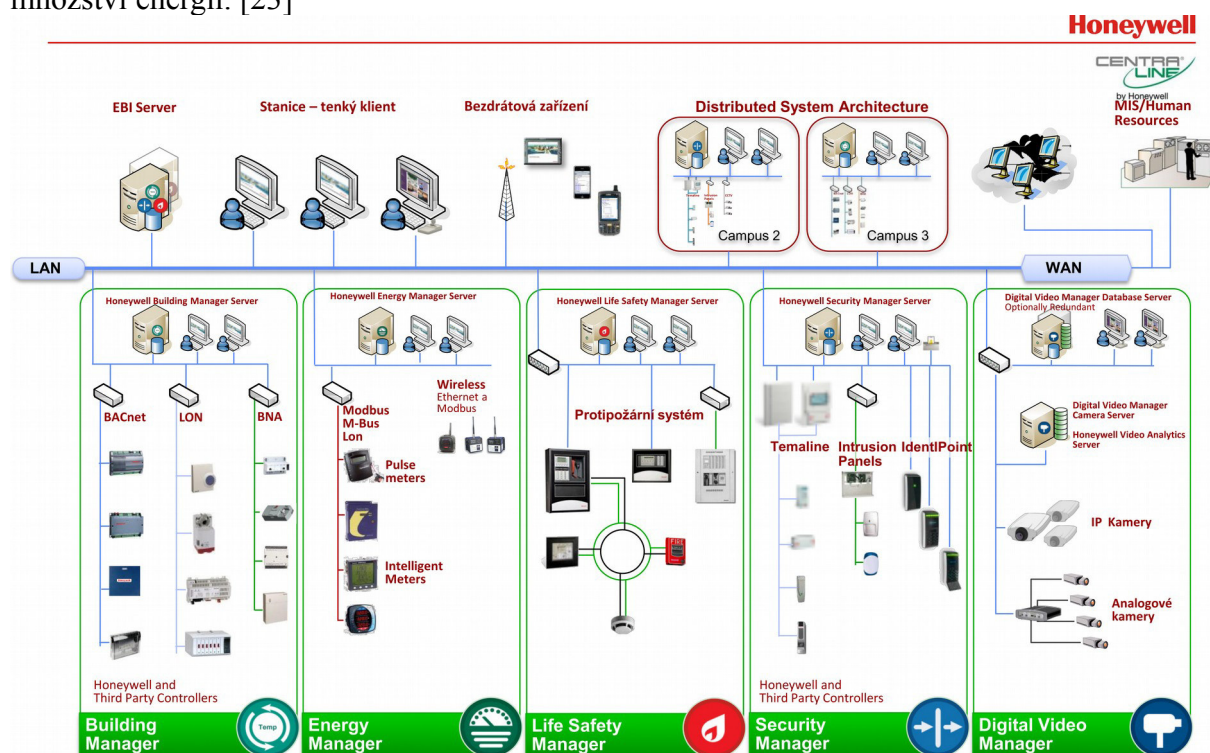
V předešlé podkapitole byly uvedeny nejčastěji používané technologie v automatizaci budov. Většina z nich byla pro tento účel přímo vyvinuta. Zatímco M-Bus byl původně určen pro zjednodušení sběru dat z měřičů, díky své rostoucí popularitě si našel cestu i do automatizace budov. Technologie jako Modbus, LON a BACnet mohou pracovat se systémy různých účelů včetně odečtu měřičů. V některých budovách tak byl volen pouze jeden protokol na kterém komunikují všechny systémy, což zjednodušuje proces řízení vzhledem k tomu, že není potřeba převádět informace na jiný protokol. M-Bus, který nemůže plnit funkci jednotného protokolu pro všechny systémy, se tak může zdát jako nevhodná volba. Ale úzké zaměření protokolu M-Bus může být výhodou. Protože objem dat, které je potřeba přenášet není tak velký, M-Bus si může dovolit používat komunikaci s nižší rychlostí. Tím lze zjednodušit instalaci sběrnice. Ostatní protokoly, které mají širší využití (Modbus, BACnet, atd.), používají k přenosu nejčastěji sériové linky a Ethernet. Pro vytvoření funkční sběrnice ze sériové linky je nutné připojení přídavných odporů a sběrnice musí mít na svém konci vždy nějaké zařízení, kterým je nejčastěji terminátor. Vytvoření sběrnice pro M-Bus je mnohem

jednodušší. Další velkou výhodou sběrnice M-Bus je podle mého názoru nabídka jednotlivých zařízení jako jsou měřiče. Na tuzemském (a obecně evropském) trhu je veliký výběr modulů a dalších zařízení pro měřiče, měřičů, koncentrátorů a opakovačů pro M-Bus. Nabídka pro ostatní protokoly už není tak široká a týká se velice často jen elektroměrů, které jsou ze všech běžně používaných měřičů nejpokročilejší. Z těchto důvodů může být výhodnější pro odečet měřičů použít M-Bus než univerzálnější protokol. M-Bus je starší a rozšířenější protokol a proto s jeho integrací do BMS systémů není problém.

M-Bus umožňuje spolehlivé získávání dat z měřičů, které předává centrálnímu systému. Proces řízení pak bere údaje o spotřebě v potaz a na jejich základě dokáže ovlivňovat akční členy pro snížení spotřeby. Na M-Bus lze také připojit mnoho čidel a senzorů, které mohou snímat například teplotu a relativní vlhkost.

7.3 Použití sběrnice M-Bus v automatizaci budov

M-Bus se díky svým vlastnostem používá v mnoha typech budov. Moderní sportovní haly jsou příkladem, kdy vytvoření systému, který sleduje a řídí všechny automatizované části, je nejen z finančního hlediska naprostou nezbytností. V případě jedné z nejmodernějších hal u nás, pražské O₂ arény, je M-Bus použit pro monitorování stavu měřičů vody a tepla[21]. Kromě této aplikace se M-Bus zavádí ve všech typech budov, které se automatizují, jako jsou třeba nemocnice, úřední budovy (např. zastupitelský úřad ČR v Tokiu [22]), atd. Vhodná pro M-Bus jsou také bytová družstva. Společnost DUWO v domě pro ubytování studentů v Laakhavenu zvolila ke sledování spotřeby v jednotlivých bytech právě tuto technologii. Naměřená data jsou poskytována nájemníkům, aby přesně znali svou spotřebu. V tomto domě dochází k velké fluktuaci nájemníků a data slouží k přesnému vyúčtování za spotřebované množství energií. [23]



Obr. 7.1: Propojení jednotlivých systémů pro automatizaci budov [24]

8 Zhodnocení sběrnice M-Bus

Kapitola popisuje využití sběrnice M-Bus, dále jsou zde stručně uvedeny její alternativy a jejich srovnání. Snahou je nabídnout komplexní pohled na roli M-Bus v oboru automatického dálkového odečtu dat z měřičů.

8.1 Použití sběrnice M-Bus

M-Bus je systém mnoha fyzických zařízení (měřiče, centrály, převodníky...), jehož účelem je dálkový odečet údajů z měřičů. Systém vznikl pro usnadnění lidské práce s využitím moderních technologií. Automatický sběr dat z měřících zařízení obecně (nejen M-Bus) má především dvě důležitá využití:

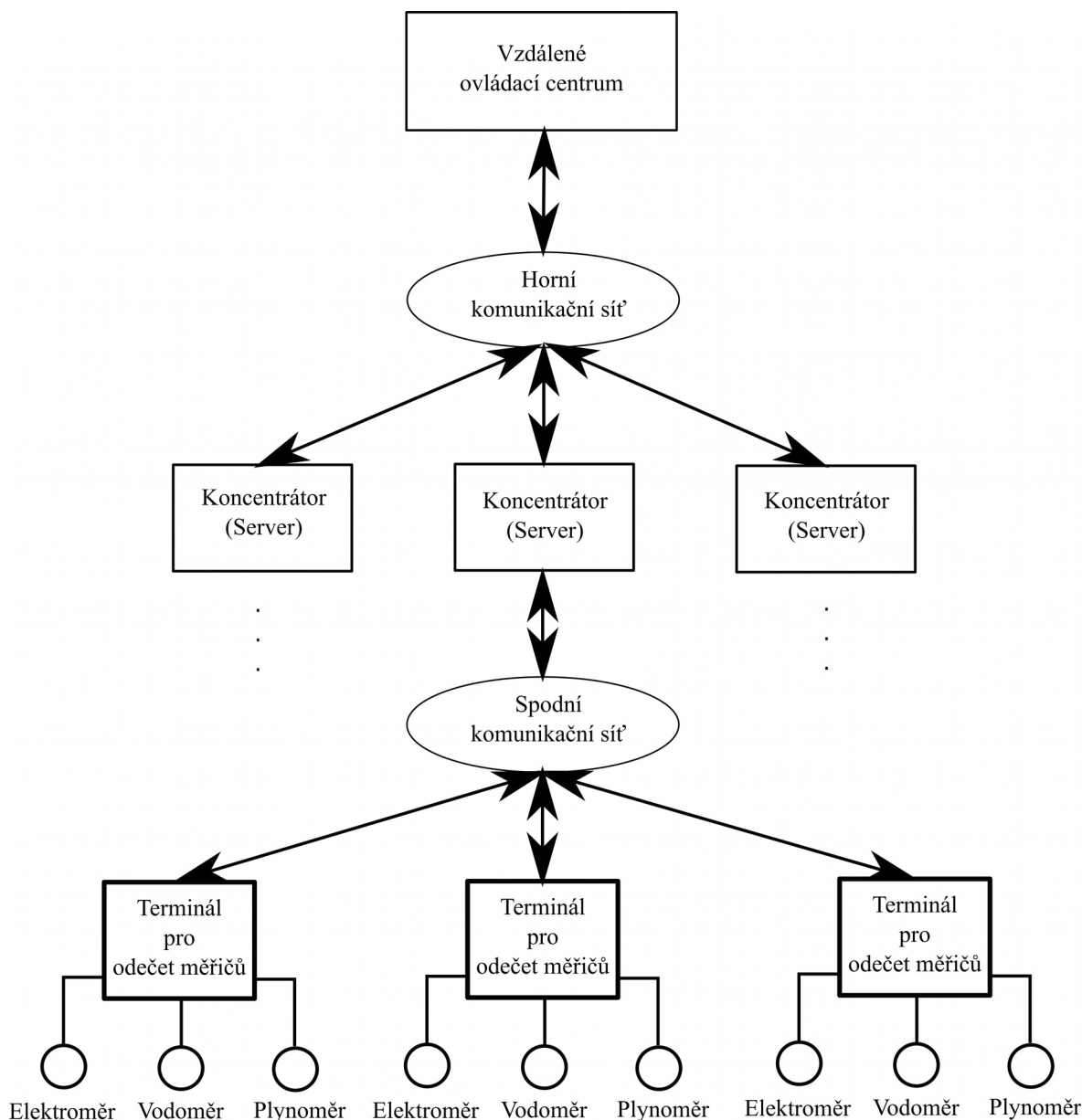
- **Fakturace údajů:** Dodavatelé (plynárny, vodárny, teplárny atd.) díky dálkovému automatickému odečtu mají snadnější přístup k informacím o spotřebě svých zákazníků, které posléze využívají k přesnějšímu vyúčtování spotřeby. Zatím se stále využívá způsob, kdy zákazníci platí předem zálohy a rozdíly jsou poté vyrovnány. Ten je do značné míry nepřesný a především složitý. Vyúčtování stále probíhá pomocí faktur v papírové podobě a dodavatelé využívají systém plateb pomocí záloh i přesto, že měřiče jejich zákazníků jsou vybaveny technologiemi pro automatický odečet dat. Dokud se nepřejde na elektronické vyúčtování, dodavatelé tato data používají k včasnému odhalování nesrovnalostí, kterými jsou například výkyvy ve spotřebě. Někteří dodavatelé data prostřednictvím internetu poskytují svým zákazníkům, kteří tak mohou sledovat svou spotřebu. Dalším využitím je potom také eliminace potřeby manuálního sběru dat, při kterém je potřeba obcházet jednotlivé měřiče, které jsou velmi často umístěné uvnitř bytů.
- **Sledování spotřeby pro její následnou optimalizaci:** Další skupinou, která může využít tuto technologii pro odečet dat jsou samotní spotřebitelé. Domácnosti a především větší odběratelé jako jsou továrny, nemocnice apod. získáním přesných dat o spotřebě a následným uzpůsobováním spotřeby mohou ušetřit velké množství prostředků. Důležitým využitím je případ, kdy dojde k propojení s dalšími automatickými systémy a vznikají automatizované budovy nebo inteligentní domy.

8.2 Smart metering

Pro snahu, která měla za cíl zautomatizovat proces odečtu dat z měřičů, se používá anglický výraz Smart metering a lze ho do češtiny přeložit jako chytré (nebo inteligentní) měření. Jedna z prvních verzí Smart meteringu se nazývala AMR – Automatic meter reading. AMR umožňuje jenom jednocestnou komunikaci – lze použít pouze pro dálkový odečet měřičů. Dvoucestnou komunikaci a tedy i schopnost ovládat podřízené prvky (měřiče, čidla,...) umožňuje následovník AMR, technologie AMM (Automated meter management). Nejnovější verzí Smart meteringu je AMI (Advanced Meters Infrastructure). Tento systém zahrnuje AMR i AMM a také obsahuje další funkce jako je třeba analýza dat. [25]

Samotný Smart metering a v něm obsažené systémy (AMR, AMM, AMI) je pojem značně abstraktní a neobsahuje žádné konkrétní požadavky na to jakým způsobem mají být data z měřičů přenášena. Existuje mnoho technologií, které se tímto problémem zabývají a M-Bus je jednou z nich. Pro co možná nejlepší zhodnocení technologie Meter Bus je potřeba

se seznámit s několika dalšími alternativami, které Smart metering nabízí.



Obr. 8.1: Typická architektura systému AMI [25]

8.3 Smart metering technologie

M-Bus sahá od fyzické po aplikační vrstvu, 4 vrstvy sice vůbec nepopisuje, ale to proto, že z důvodu jakým funguje, tyto vrstvy nejsou potřeba. Následující alternativy – drátové i bezdrátové – velice často pokrývají jen určitou část vrstev, například Wi-Fi pracuje na spojové vrstvě a vyšší vrstvy popisují jiné protokoly. Technologie Zigbee má sice rozsah od fyzické po aplikační, ale nižší vrstvy mohou být použity jinou technologií, popisující jenom vyšší vrstvy. Například protokol BACnet může pro bezdrátový přenos použít technologii Zigbee. Mnoho technologií, které jsou zde uvedeny, nepopisuje na rozdíl od M-Bus všechny

vrstvy. Technologie, které popisují pouze nižší vrstvy srovnávám s nižšími vrstvami M-Bus. Protokoly popisující pouze vyšší vrstvy (např. Modbus, BACnet) mají velice často omezený počet možností co se týče nižších vrstev. Fyzické vrstvy těchto protokolů se pak mohou lišit od fyzických vrstev M-Bus a lze také tímto způsobem srovnávat odlišné protokoly.

8.3.1 Bezdrátové technologie

Bezdrátová technologie se stala důležitou a nedílnou součástí nejen pro Smart meterenig. Její podíl stále roste a dá se předpokládat, že obzvláště v případě menších sítí (např. domácnosti) drátovou technologii zcela vytlačí. Následuje výčet technologií, které jsou možnou alternativou pro Wireless M-Bus (wM-Bus).

Bluetooth

Technologie popsaná v normě IEEE 802.15.1 byla původně zamýšlena jako bezdrátová náhrada pro sériovou linku RS-232 [26]. Stejně jako Wi-Fi pracuje v bezlicenčním pásmu 2,4 GHz [27]. Bluetooth je definován na vyšších vrstvách ISO/OSI modelu a to až do aplikační vrstvy. Proto je pro jeho fungování nutnost ovladačů. Model komunikace je Master/Slave, kdy na jednu řídící stanici je připojeno až 7 podřízených stanic [27]. Toto spojení se nazývá pikosíť (angl. piconet). Až 10 pikosítí lze sdružit do tzv. "rozprostřených" sítí (anglicky scatternets). Spojování pikosítí se provádí buď pomocí zařízení nazývaných brány (anglicky gateway), které jsou součástí více pikosítí, anebo pomocí drátového spojení mezi dvěma řídícími stanicemi [27].

Nevýhodou Bluetooth jsou vyšší nároky na spotřebu. Bateriová zařízení vydrží do výměny baterií pracovat obvykle jen několik měsíců.

Wireless M-Bus má oproti Bluetooth výhodu, že využívá pásmo okolo frekvence 860 MHz, u kterého je lepší průchodnost skrze překážky (např. stěny) [25] a lze tak dosáhnout lepšího dosahu. Wireless M-Bus je také rozhodně vhodnější pro rozsáhlejší síť, protože narozdíl od Bluetooth jsou centrální jednotky (koncentrátory) schopné komunikovat s velkým množstvím měřičů (některé koncentrátory až s několika stovkami měřičů). Dalším pozitivem wM-Bus je možnost kombinování drátového a bezdrátového přenosu. Bluetooth je vhodný především pro měření spotřeby v menších domácnostech (byty), kde jsou jednotlivé vzdálenosti mezi zařízeními nanejvýš několik desítek metrů. Dále Bluetooth v domácnostech umožňuje alespoň částečné odečítání dat pro fakturaci, kdy pro odečet není potřeba vstup do bytu, ale je možné jej provést až z chodby.

Wi-Fi

Wi-Fi (Wireless Fidelity) je zjednodušeným označením pro skupinu standardů IEEE 802.11, popisujících bezdrátový přenos dat pracujících v bezlicenčním pásmu 2,4 GHz [26]. Wi-Fi pracuje na spojové vrstvě, čímž se liší od Bluetooth, který sahá až do aplikační vrstvy. Wi-Fi se velice často využívá jako určitá část infrastruktury Smart meter sítě. Například jako součást horní komunikační sítě v obr. 8.1. Pro komunikaci mezi dvěma servery nebo koncentrátory může být jednodušší a levnější použít bezdrátový přenos Wi-Fi místo klasického drátového přenosu. Lze se také setkat s měřiči, které jsou rozhraním Wi-Fi vybaveny. Vzhledem k tomu, že většina domácností je vybavena Wi-Fi routery, pro odečet dat z měřičů není potřeba pořizovat žádné další zařízení jako je tomu třeba u wM-Bus. Pro odečet pak lze také použít

mobilní telefon, tablet, atd.

Problém u Wi-Fi je stejný jako u Bluetooth a to pásmo 2,4 GHz, které pro přenos dat v prostředí, kde je mnoho překážek, není ideální. Na druhou stranu přenosem v pásmu 2,4 GHz je možné dosáhnout větší přenosové rychlosti, protože toto pásmo je širší (cca 60 MHz) než pásmo okolo 868 MHz používané pro wM-Bus. Avšak data z měřičů většinou nejsou tak obsáhlá, aby byla potřeba pro komunikaci využívat velkých přenosových rychlostí. Ve většině aplikací je pásmo okolo frekvence 868 MHz pro přenos dat postačující. Velkou výhodou využití měřičů s rozhraním Wi-Fi tak není ani tolik rychlost přenášených dat, ale je to možnost shromažďovat data zařízeními, která má každá domácnost – mobilní telefony, laptopy, tablety. Většina ostatních bezdrátových technologií vyžaduje investici do zařízení pro sběr dat schopného přijímat vyžadovaný typ přenosu.

I další problém Wi-Fi je podobný jako u Bluetooth. Je to vyšší spotřeba napájení použitých prvků. Běžně dosahuje až jednotek wattů a i při velmi úsporném provedení u bateriových zařízení nemůže dobou mezi výměnami baterií konkurovat bezdrátové sběrnici M-Bus. Její měřiče bez výměny baterie pracují často 10 i více let.

2G/2,5G/2,75G

2G je označením pro druhou generaci mobilní telefonní sítě. Standardem popisujícím protokol této sítě je GSM (Groupe Spécial Mobile). GSM je nejrozšířenějším standardem pro mobilní zařízení na světě. Nahrazuje analogovou 1G síť sítí digitální. Ta umožňuje kromě přenosu hovorů také datový přenos. Služba GPRS (General Packet Radio Service) umožňuje mobilním zařízením GSM přenášet data a připojení k dalším sítím jako je třeba internet. Přenos dat a připojení k internetu umožňuje i klasická 2G síť s GSM standardem, ale GPRS funguje na principu přepojování paketů, což umožňuje účtování za přenesená data a ne za čas připojení jako u klasického GSM. Další výhodou GPRS je zvýšení rychlosti připojení. Pro správné fungování GPRS bylo potřeba vylepšit infrastrukturu sítě, která se poté označuje jako 2,5G. Ještě vyšší rychlosti připojení lze dosáhnout pomocí technologie EDGE, která pracuje na vylepšené síti 2,75G. Měřiče schopné používat technologii EDGE se téměř vůbec nepoužívají, protože GSM/GPRS jsou pro odečet dat dostatečné. Měřiče vybavené GSM/GPRS je nutné vybavit vlastní SIM kartou a přenos dat nejčastěji probíhá pomocí SMS zpráv [26]. V některých případech je měřič přímo vybaven modulem pro GSM/GPRS komunikaci (nejčastěji elektroměry), někdy lze měřiče tímto modulem dovybavit, v ostatních případech lze použít komunikátor na který je připojeno několik měřičů pomocí drátového spojení – např. prostřednictvím sériové linky RS-485.

Předností 2G sítě je, že ve většině vyspělejších států je její pokrytí téměř úplné. Měřiče, které jsou umístěny na místech s dobrým pokrytím, jsou díky 2G síti schopné komunikovat přímo se zařízením pro shromažďování dat na vzdálenosti, které jsou u ostatních rádiových technologií nemyslitelné. Problém se může vyskytnout v případech, kdy jsou měřicí zařízení umístěna na místech, kde není dostatečná síla signálu. Jedná se celkem o reálný problém, protože mnoho budov má měřicí zařízení v nižších patrech a sklepech. Tento problém je pak nutno řešit použitím jiné technologie, pomocí antén nebo připojením měřičů na komunikátory umístěné na místech dostupných pro signál. Použitím 2G sítě lze dosáhnout přenosu na větší vzdálenost, ale její použití není zdarma. Proto je třeba zvážit, zda rádiový přenos v bezplatném pásmu není lepší volbou.



Obr. 8.2: Elektroměr schopný komunikace přes GSM/GPRS od výrobce ENMAT [28]

3G

Třetí generace mobilní telefonní sítě je založená na standardu IMT-2000. Tato síť umožňuje oddělený přenos dat a hovoru s rychlostí alespoň 200 kbit/s. Dalším vývojovým stupněm této sítě je UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), který umožňuje rychlost přenosu až 3 Mbit/s. Měřiče používající ke komunikaci 3G síť využívají datový přenos a svá data posílají prostřednictvím paketů [26].

Pro komunikaci v 3G musí být měřiče vybaveny SIM kartou a využívání této sítě samozřejmě není bezplatné. Dalším negativem může být nedostatečné pokrytí v oblastech s nízkou aglomerací a malou koncentrací průmyslu.

LTE

Nejnovější technologie, která poskytuje pouze datový přenos i pro přenos hovorů (v dnešní době se pro přenos hovorů i při dostupné LTE síti stále ještě používá 3G síť) s rychlostí až 326 Mbit/s. Budoucí LTE síť by měly umožňovat rychlosti až 1 Gbit/s.

Použití LTE pro odečet dat z měřičů je spíše vizí do budoucnosti, o které výrobci měřičů často mluví, ale v jejich nabídce není možné zatím žádný takový měřič najít. Problémem je také stále do značné míry nedostačující pokrytí touto sítí v mnoha zemích včetně ČR. Diskutabilní je z mého pohledu i potřeba používat síť s vysokou přenosovou rychlostí pro komunikaci s měřiči, kde objem přenášených dat není značný.

ZigBee

Důvodem vzniku přenosové technologie ZigBee byla snaha několika významných společností (IBM, Motorola, Philips, atd. [30]) vytvořit spolehlivou, jednoduchou, dvoucestnou a levnou

bezdrátovou technologii i za cenu nižší přenosové rychlosti a menšího dosahu. Většina ZigBee zařízení je napájena bateriově a kvůli jednoduchosti této technologie má velmi nízkou spotřebu. Díky tomu lze dosáhnout výdrže baterií až 2 roky [30].

Technologie ZigBee je založená na standardu IEEE 802.15.4 a pracuje v bezlicenčních pásmech 868/915 MHz a 2,4 GHz. Pásmo 868 MHz je bezlicenční pásmo pro Evropu a pásmo 915 MHz pro Spojené státy. Při přenosu v pásmu 2,4 GHz se dosahuje přenosových rychlostí až 250 kbit/s. Pásmo 868/915 MHz se používá v případě, kdy je rušení na 2,4 GHz kvůli Wi-Fi a Bluetooth příliš velké. V pásmu 868/915 MHz se rychlost pohybuje okolo 20 kbit/s pro 868 MHz a 40 kbit/s pro 915 MHz. Jako maximální dosah přenosu se uvádí vzdálenost 100 m. Používá se stejné šifrování jako u wM-Bus AES-128. Standard, na kterém je technologie ZigBee založená, patří do stejné třídy jako standard pro Bluetooth (IEEE 802.15) a tyto dvě technologie jsou si v mnohém podobné. ZigBee totiž byla zamýšlena jako doplnění pro Bluetooth a Wi-Fi, které pokrývá některé jejich nedostatky. Zatímco Bluetooth umožňuje vytvořené sítě o maximálně 8 uzlech, u ZigBee lze vytvořit síť s 65536 uzly. Existuje několik možných topologií pro tuto technologii, nejčastěji se uvádí topologie hvězda, stromová topologie a mesh topologie, která se někdy také nazývá smíšená. Další předností je pak přítomnost úsporného režimu, který zvyšuje výdrž baterií. ZigBee se skládá ze čtyř vrstev. Jedná se o vrstvu aplikační, síťovou, spojovou a fyzickou. Spojová a fyzická vrstva jsou popsány ve standardu IEEE 802.15.4. Aplikační a síťovou vrstvu definuje ZigBee Alliance, což je sdružení firem (výrobci i dodavatelé ZigBee) zabývající se ZigBee standardy a jejich publikací. [30]

Pro odečet dat z měřičů se většinou používají ZigBee moduly na které je připojeno více měřičů pomocí sériové linky RS-485. Stále častěji se objevují měřiče, které v sobě mají rozhraní ZigBee přímo zabudováno.

I přesto, že se uvádí dosah ZigBee až 100 m, ve většině použití nelze takové hodnoty dosáhnout. Vzdálenost 100 m je možná v případě přímé viditelnosti mezi vysílačem a přijímačem. Měření provedená v kancelářském prostředí [29] (v prostorách UAMT FEKT VUT v Brně v areálu Koleční 4) zjistila, že při použití modulů s vysílacím výkonem 0 dBm a prutovou anténou se získkem 0,5 dBm je dosah asi 15 m a při použití modulů s vysílacím výkonem až 18 dBm je dosah asi 50 m, kdy signál pronikal přes 15 příček. Všechny výše uvedené hodnoty dosahů jsou pro moduly vysílající v pásmu 2,4 GHz. ZigBee pracuje také v pásmu 868/915 MHz, ale většina modulů pracuje jen v pásmu 2,4 GHz. I tak lze díky modulům s vyšším vysílacím výkonem, které jsou samozřejmě dražší, mít dostatečný dosah a ZigBee je tedy možné s úspěchem použít pro dálkový odečet dat z měřičů. Nižší rychlost přenosu pro toto použití není problémem. Cena ZigBee modulů je v současné době srovnatelná s cenou Bluetooth modulů (cca 400 Kč), ale snaha výrobců je cenu modulů rapidně snížit [30]. Původní myšlenkou bylo, aby technologie ZigBee nebyla používána jen k jednotlivým aplikacím, ale aby pomocí ní vznikaly celé skupiny vzájemně propojených systémů, jako jsou inteligentní domy. Narozdíl od wM-Bus lze pomocí ZigBee vytvořit větší celek s více funkcemi bez potřeby dalších technologií.



Obr. 8.3: Jednofázový elektroměr výrobce Freescale semiconductor s integrovaným Zigbee modulem [31]

Shrnutí

Jaká varianta bezdrátového odečtu dat z měřičů je nejvíce vhodná, do značné míry záleží na konkrétním použití. V případě, že se domácnost žijící v bytě rozhodne měřit svou spotřebu, bude nejlepší zvolit bezdrátový přenos, který nevyžaduje natahování kabelů a jako technologii zvolit nejspíš Wi-Fi nebo Bluetooth. To především pro to, že není potřeba zakoupení dalšího zařízení pro shromažďování dat. Jako nejlepší technologie pro použití v inteligentních domech se jeví ZigBee, která se neustále vyvíjí a je k tomuto účelu určená. Pro rozsáhlejší síť a větší budovy jako jsou nemocnice, školy, továrny je vhodná M-Bus hlavně díky možnosti snadné kombinace drátového a bezdrátového spojení. Pro více rozsáhlé síť je lepší volit drátový přenos, kterému se věnuje další podkapitola. Problém výše uvedených alternativ pro M-Bus je také fakt, že nejsou tolik rozšířené a nabídka měřičů, které podporují tyto jednotlivé technologie není příliš velká. Ve srovnání s tím M-Bus, který je v Evropě velice populární, má širokou nabídku všech potřebných zařízení a při výběru tak není člověk závislý jen na několika výrobcích. Výše uvedené alternativní technologie se ale také velice často hodí pro určité části sítě pro Smart metering nebo jsou často používány pro bezdrátový přenos některých protokolů. Například Modbus může používat GPRS pro své bezdrátové spojení.

8.3.2 Drátové technologie

V současnosti stále sílí tendence nahrazovat drátový přenos bezdrátovým pokud je to jenom trochu možné. Může se tak zdát, že nejen pro sběr dat z měřičů se bude drátová komunikace uplatňovat jen výjimečně. S rozšířením bezdrátového přenosu se totiž stále více objevují varování před zdravotními riziky. Do jaké míry jsou tyto obavy oprávněné nemohu posoudit, ale jisté je, že intenzita elektromagnetického pole v prostředí prudce roste. Nebezpečí pro naše zdraví tu se stále častěji používaným bezdrátovým přenosem je. Toto může být jeden z důvodů, proč drátová technologie rozhodně nevymizí. Dalším důvodem je samozřejmě dosah. V bezlicenčním pásmu stále neexistuje technologie bezdrátového přenosu, která by

měla dosah stovek metrů i přes několik překážek. Takové technologie se asi v dohledné době nedočkáme. U rozlehlějších sítí je proto drátová technologie nenahraditelná.

Nyní uvedu několik alternativ pro M-Bus, jejich stručný popis a jejich porovnání. Všechny následující technologie umožňují také bezdrátový přenos.

Modbus

Jedná se o otevřený protokol, který umožňuje komunikaci více zařízení. Data jsou přenášena po různých sítích a sběrnicích [19]. Komunikace funguje na principu Master/Slave. Formát rámce se skládá z protokolové datové jednotky (PDU - Protocol Data Unit) a dalších dvou částí – adresy a kontroly chyb. PDU se skládá z kódu funkce, který udává jakou operaci má podřízená stanice provést, a dat. Modbus má dva sériové vysílací režimy: Modbus RTU a Modbus ASCII. V režimu RTU se datový bajt posílá jako dvojice 4-bitových hexadecimálních znaků, v režimu ASCII jako dvojice ASCII znaků. Pro přenos se nejčastěji používá Ethernet, sériové přenosy RS-232, RS-422, RS-485 a rádiový přenos. Pro přenos přes Ethernet se používá TCP/IP nebo TCP nebo RTU/IP, který se liší od TCP/IP tím, že je v telegramu obsažen kontrolní součet stejně jako u Modbus RTU. Modbus byl původně vyvinut pro průmyslové aplikace, ale našel i veliké využití v automatizaci budov. [19]

Modbus má možnost i bezdrátového přenosu a to prostřednictvím rádiového přenosu v ISM pásmu, pomocí SMS zpráv nebo pomocí GPRS. Protokol Modbus se liší od protokolu M-Bus tím, že jeden z jeho hlavních úkolů je ovládání podřízených stanic, zatímco M-Bus je uzpůsoben hlavně k odečtu dat z těchto stanic. Velikým rozdílem jsou především fyzické vrstvy. Modbus využívá několik běžných přenosových médií (sériové linky, Ethernet, atd.), které jsou využívány i mnoha dalšími protokoly, M-Bus má fyzickou vrstvu svou vlastní a zcela specifickou. Modbus má také na rozdíl od M-Bus mnohem širší využití, které se neomezuje pouze na komunikaci s měřiči.



Obr. 8.4: 3-fázový elektroměr s rozhraním pro Modbus od výrobce Loxone [32]

BACnet

BACnet z anglického Building Automation and Control networks je komunikační protokol, který se stejně jako Modbus používá bez licenčních poplatků. V roce 2003 se BACnet stal standardem ISO 16484-5 [26]. Nejvíce se pro přenos zpráv používá síť Ethernet (BACnet/IP). Je možné také použít sériovou linku RS-485 s protokolem Master-Slave/Token-Passing (MS/TP), kdy je více vzájemně propojených uzlů, které jsou typu Master (řídící stanice) a ve vysílání se střídají podle toho, která má token. Je možné také připojit sběrnice podřízené uzly (Slave), které komunikují pouze pokud jsou vyzvány řídící stanicí. BACnet protokol definuje přenos zpráv pomocí RS-232 s dvoubodovým spojem (Point-To-Point), ZigBee, LonTalk, ARCNET, BACnet/IPv6. Kromě typu přenosu protokol definuje ještě dvě základní části a to objekty a služby. Mezi objekty patří například přístupový bod, analogový vstup a výstup, příkaz, soubor a mezi služby sdílení dat, správa zařízení, alarmy. [19]

V automatizaci budov jsou protokoly BACnet a Modbus velice často používané, proto je na trhu mnoho zařízení, která umožňují převod z protokolu Modbus na protokol BACnet a opačně. Tato zařízení se nazývají brány (gateway). Pro porovnání s M-Bus lze považovat BACnet podobný s Modbusem a platí tak stejné odlišnosti.

LON

Standard LON (Local Operating Network) vyvinula firma Echelon na začátku 90. let. Jedná se univerzální a levné spojení inteligentních zařízení a uzlů, které komunikují jednotným otevřeným protokolem LonTalk. Ten je standardizován v ANSI/EIA 709.1. Souhrn všech zařízení a celá technika se souhrnně nazývá jako LonWorks. Uzly obsahují neuronové čipy, které jsou připojené na síť. Dříve bylo možné použít pouze čipy vyráběné firmou Echelon, ale od té doby, co se LON stal otevřeným standardem, je možné použít jiných výrobců. Topologie sítě je libovolná, velice obvyklá je topologie typu sběrnice. Jako přenosové médium lze použít například kroucenou dvojlinku, optické vlákno, elektrorozvodnou síť, vysokofrekvenční rádiové vlny. LON je vhodný pro aplikace, kde se klade důraz na vzdálenost na kterou může komunikace probíhat i za cenu nižších přenosových rychlostí. V tomto ohledu je LON velice podobný M-Bus. [19]

Jednou z největších výhod LON je možnost přenosu po libovolném médiu s libovolnou topologií. Napájení může probíhat pomocí společného vedení s datovým přenosem. To LON výrazně odlišuje od dříve popsanych protokolů (Modbus, BACnet) používaných v automatizaci budov. LON samozřejmě také umožňuje sběr dat z měřičů a na rozdíl od M-Bus může samotný plnit všechny potřebné funkce pro automatizaci budov.

IEC 62056

IEC 62056 je třída norem popisujících systém DLMS/COSEM. DLMS/COSEM specifikuje výměnu dat s měřiči. Přesto, že tyto standardy popisují pouze komunikaci s elektroměry, lze je použít i pro ostatní měřiče. Norma IEC 62056-21 (ČSN EN 62056-21), která je nadřazena normě IEC 61107 a kterou má také v budoucnu nahradit [26], popisuje přímou místní výměnu dat elektroměru. Tento standard definuje pět komunikačních režimů A, B, C, D a E. V režimech A, B a C probíhá obousměrná komunikace na principu řídící/podřízená stanice (Master/Slave), v režimu E je výměna dat typu klient/server, kde klientem je řídící systém a serverem je měřič. V režimu D je možná pouze jednosměrná komunikace, která probíhá tak, že měřič hned poté co je aktivován vysílá všechny data. V tomto režimu je možný pouze

odečet dat. Jako přenosové médium lze použít sériovou linku (RS-232, RS-485), veřejnou telefonní síť (PSTN) nebo GSM. [33]

Výhodou DLMS/COSEM je, že vrstvy zajišťující samotný přenos dat jsou nezávislé na ostatních. To umožňuje měnit uživatelské rozhraní bez ohledu na přenosové médium. DLMS/COSEM tak nabízí větší volnost v tom jaká data a jaký typ dat bude vysílán. Není potřeba žádného zásahu v případě, kdy výrobce měřičů rozhodne, že nové měřiče budou poskytovat nový typ dat. Komunikace s měřiči přes DLMS/COSEM umožňuje větší volnost a více možností než u M-Bus.

KNX

V roce 1999 sdružení tří evropských asociací (BCI, EIB Association, European Home Systems Association) založilo jednu společnou asociaci KNX, jejímž účelem bylo vytvořit a poskytovat podporu pro inteligentní systémy pro domy a budovy. Jedním z těchto systémů je EIB, který je s KNX zcela kompatibilní, je možné se tak setkat s označením KNX/EIB. Od roku 2006 je KNX celosvětovou normou ISO/IEC 14543-3. Asociace KNX také zajišťuje, že všechny zařízení označené písmeny KNX jsou vzájemně kompatibilní bez ohledu na výrobce. [34]

Nejmenší instalace obsahuje napájecí zdroj s tlumivkou, snímač, aktor a sběrníkové vedení. Jako přenosové médium se používá kabel YCYM 2x2x0,8. Kromě krouceného páru lze použít pro přenos také silové vedení, rádiový přenos a IP/Ethernet. Teoreticky je možné připojit do jedné instalace 58 tisíc přístrojů. Reálně je tento počet značně nižší a závisí na napájecím zdroji. [34]

Základem zapojení je páteřní linie (sběrnice), na tu je pomocí spojek připojovat oblasti na které je možné pomocí dalších spojek možné připojit další linie. Limitujícím faktorem pro maximální počet zařízení, které je možné připojit, je nutnost napájení. [35]

Výhodou KNX je stejně jako u dalších protokolů pro automatizaci budov univerzálnost. Pokud jsou jednotlivé komponenty vhodně zapojeny, je jednoduché díky své specifické topologii lokalizovat nefunkční prvky, což může být u rozsáhlejších sítí obtížné. Nabídka měřičů, které jsou schopny komunikovat s dalšími KNX zařízeními není velická. Je tak možné a často k tomu také dochází, že se pro odečet dat z měřičů použije jiný protokol, běžně např. M-Bus, který se připojí pomocí převodníku.



Obr. 8.5: Vodoměr Engelmann WATERSTAR® schopný komunikace přes KNX [36]

Shrnutí

Je několik hledisek na základě kterých lze porovnávat uvedené technologie. Mezi ně patří:

- **Univerzálnost** – Protokoly Modbus, BACnet, LON jsou schopny komunikovat s mnoha typy zařízeními mezi které patří i měřiče. Narozdíl od M-Bus jsou schopny vykonávat všechny nutné funkce pro automatizaci budov. Specializace u M-Bus ovšem nemusí být pouze nevýhodou. Úzké zaměření dává možnost přizpůsobit celou technologii tak, aby co nejvíce vyhovovala danému použití. Všechny následující odlišnosti a výhody souvisí se specializací M-Bus.
- **Napájení** – U elektroměrů napájení není problém, ale u jiných měřičů, například u vodoměrů, je otázka napájení mnohem palčivější. M-Bus není jediná technologie umožňující napájení měřičů přímo po přenosovém médiu, ale pouze M-Bus a LON mají tuto schopnost bez potřeby dalších úprav.
- **Rychlost přenosu** – Technologie LON podobně jako M-Bus volila cestu snížení rychlosti za cenu zvýšení vzdálenosti na kterou lze data přenášet. V automatizaci budov nižší rychlost nemusí být ideální, ale to samozřejmě záleží na konkrétním případě. Pro sběr dat z měřičů je *vzdálenost* a spolehlivost důležitějším bodem než rychlost přenosu.
- **Instalace** – Při použití sériové linky nebo Ethernetu je propojování jednotlivých zařízení složitější než při použití obyčejného dvoudrátového kabelu. U sériové linky (a dříve též u koaxiálního Ethernetu) je to potřeba zapojování odporů nebo dalších zařízení (terminátory).
- **Nabídka** – I přestože některé společnosti tvrdí, že technologie, kterou vyvíjejí je ta nejlepší možnost, protože řeší problémy se kterými se je možné setkat u ostatních technologií, kritický moment nastává při jejich realizaci. Vylepšení jsou totiž často teprve ve fázi vývoje a někdy se ani do této fáze ještě nedostala. Problémem nových technologií je také nabídka potřebných zařízení, která jsou mnohdy dodávána pouze jednou firmou. Proti tomu se dá namítnout, že jde pouze o dočasný problém. Ale

zavádění nových technologií je proces velice zdoluhavý a častokrát se stává, že nové technologie ty starší nevytlačí a po čase dokonce samy zaniknou jako slepé větve vývoje (viz např. přenosový protokol ATM). M-Bus sice není nejstarší ze zde uvedených, většina z nich začala vznikat zhruba ve stejnou dobu, ale M-Bus byla v Evropě první spolehlivá a funkční technologie umožňující odečet dat ze všech typů měřičů. Mohu z vlastní zkušenosti říct, že v dnešní době na tuzemském trhu žádná z výše uvedených alternativ nemá tak širokou nabídku měřičů, koncentrátorů a dalších zařízení jako M-Bus. O postavení M-Bus svědčí i fakt, že mnoho nových technologií má možnost komunikovat s M-Bus zařízeními. Ve výsledku není problém implementovat M-Bus sítě do sítí s jinými protokoly.

9 Závěr

Smyslem této práce bylo popsat sběrnici M-Bus a provést její zhodnocení. Snažil jsem se zahrnout co nejvíce oblastí, aby vznikl přehledný soubor poznatků. Práce se nesnaží duplikovat detailní text norem ani být pouhým překladem původních dokumentů tvůrčího konsorcia autorů sběrnice. Pro obě uvedené kategorie zdrojů ale může být přínosnou pomůckou tomu, kdo se M-Busem chce zabývat.

V souvislosti s normami vnáší práce více světla a umožňuje čtenáři se zorientovat ve značně nepřehledné situaci. Za svůj podstatný vklad považuji rozklíčování historie vzniku norem, ozřejmení důvodů proč souběžně existují různě označené standardy s významně se překrývajícím a také významně nekompletním obsahem. Nalezení paralel mezi nevhodně přeloženými či nesrozumitelně používanými termíny v českých normách a mezi termíny zažitými v praxi síťové komunikace bylo nezbytné, aby mi pomohlo lépe pochopit, o čem normy hovoří. Poměrně krátký úsek textu práce tak prezentuje výsledek mentálně i časově náročné činnosti v „archeologickém“ rozboru obtížně dostupných materiálů.

V souvislosti s původními historickými dokumenty definujícími M-Bus považuji za svůj přínos komentované převedení vybraných důležitých částí do srozumitelné české podoby. Nešlo mi o pouhý doslovný překlad, ale o to, aby i čtenář bez předchozí znalosti M-Bus pochopil podstatu a funkci protokolu. Při snaze o hlubší proniknutí jsem zjistil, že se pohybuji v kruhu, protože různé prameny doslovně přebírají stále též výchozí text a nepřidávají k němu cokoliv dalšího pro lepší pochopení. Bylo nutné tak vynaložit velké úsilí, aby vznikl popis protokolu předkládaný zde v práci. Ten jsem ještě doplnil vlastními původními komunikačními diagramy, které si kladou za cíl dále ozřejmit funkci M-Bus.

Pro co nejlepší zhodnocení M-Bus jsem použil především srovnání s dalšími technologiemi. Z tohoto srovnání nevychází nejhůře, naopak v mnoha oblastech má před konkurencí náskok. Technologie M-Bus se stále vyvíjí. Vzhledem k tomu, že se na inteligentní (chytré) měření, které umožňuje optimalizaci spotřeby, klade stále větší důraz, dá se předpokládat, že v budoucnu bude zcela běžné a M-Bus bude mít i nadále důležitou úlohu.

10 Seznam použitých zdrojů

- [1] Meter-Bus. *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. 2001- [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Meter-Bus>
- [2] *The M-Bus: A Documentation, Rev. 4.8* [online]. 1998 [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://www.m-bus.com/files/MBDOC48.PDF>
- [3] M-Bus and Wireless M-Bus. HERSENT, Olivier, David BOSWARTHICK a Omar ELLOUMI. *The Internet of Things: Applications to the Smart Grid and Building Automation*. Hoboken, NJ: Wiley, 2012, s. 155. ISBN 978-1-119-99435-0.
- [4] BORIES, Carsten. *Einrichtung einer intelligenten Ausleseinheit für Verbrauchsmesszähler* [online]. 1995 [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://www.m-bus.com/files/CBDIPW6.PDF>
- [5] Standards & Sources. In: *OMS-Group* [online]. [cit. 2017-02-26]. Dostupné z: <http://oms-group.org/en/standard-sources/>
- [6] SIKORA, Axel et al. Recent Advances in EN13757 Based Smart Grid Communication. *Journal of Communications* [online]. 2014, 9(9), 658-664 [cit. 2017-02-26]. ISSN 1796-2021. Dostupné z: <http://www.jocm.us/uploadfile/2014/0918/20140918105733212.pdf>
- [7] *M-Bus Master MultiPort 250D: Installation and User Guide* [online]. 2010 [cit. 2017-01-16]. Dostupné z: http://www.multical.hu/M-bus_Master_Multiport_usersguide.pdf
- [8] VOJÁČEK, Antonín. *M-BUS (Meter-Bus) - základní popis komunikačního protokolu*. *Automatizace.hw.cz* [online]. 2010 [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/mbus-meterbus-zakladni-popis-komunikacniho-modelu>
- [9] PETERKA, Jiří. *Referenční model ISO/OSI - sedm vrstev* [online]. 1992 [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <http://www.earchiv.cz/a92/a213c110.php3>
- [10] *M-Bus Network Instalation Notes* [online]. [cit. 2017-01-16]. Dostupné z: http://www.a2s.pl/images/_articles/MBus/MBus_wiring_eng.pdf
- [11] *M-Bus Energy Meter Technical data* [online]. 2014 [cit. 2017-01-16]. Dostupné z: http://www.eltako.com/fileadmin/downloads/en/_bedienung/M-Bus_EnergyMeter_TechnicalData_Teach-inGuide_gb.pdf
- [12] *M-Bus Communication Protocol: For M-Bus Communication Module* [online]. 2011 [cit. 2017-01-16]. Dostupné z: https://www.gossenmetrawatt.com/gmc/resources/ec/u180b/sb_mbus_gb.pdf
- [13] *M-bus System: Basic Documentation* [online]. 2007 [cit. 2017-01-16]. Dostupné z: <https://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&id1=17642>

- [14] VIDIM, Jan. *Instalace komunikační sběrnice M-Bus* [online]. 2012 [cit. 2017-01-16]. Dostupné z: http://domat-int.com/wp-content/uploads/2012_12_IDB_SK_Instalace_M-Bus.pdf
- [15] *M-Bus Převodník/Zesilovač EQUOBOX LC1: Návod k použití* [online]. [cit. 2017-01-16]. Dostupné z: https://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/IBT/mereni_a_regulace/mereni_tepla_a_prutoku/merice_tepla_a_chladu/Documents/SIN.EQLC1_MN_3.pdf
- [16] VOJÁČEK, Antonín. Sběrnice Wireless M-BUS - jde to i bezdrátově.. *Automatizace.hw.cz* [online]. 2010 [cit. 2017-01-16]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/sbernice-wireless-mbus-jde-i-bezdratove>
- [17] BAŠTÁN, Ondřej. *Monitor Pro Wireless M-Bus*. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ladislav Šťastný.
- [18] *Wireless M-Bus Suite and Silabs specific documentation* [online]. 2014 [cit. 2017-01-16]. Dostupné z: <http://www.silabs.com/documents/public/quick-start-guides/wireless-m-bus-quick-start-guide.pdf>
- [19] MATZ, Václav. *Systémy používané v "inteligentních" budovách - přehled komunikačních protokolů* [online]. 2010 [cit. 2017-02-07]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6879-systemy-pouzivane-v-inteligentnich-budovach-prehled-komunikacnich-protokolu>
- [20] MATZ, Václav. *Systémy a komponenty používané pro automatizaci budov - integrace systémů* [online]. 2010 [cit. 2017-02-07]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/7011-systemy-a-komponenty-pouzivane-pro-automatizaci-budov-integrace-systemu>
- [21] ŽENÍŠEK, Martin. Hala Sazka Arena z pohledu systému řízení budov. *AUTOMA: Časopis pro automatizační techniku*. Praha: FCC Public, 2006, 12(2), 40-42. ISSN 1210-9592.
- [22] *Měření a regulace systémů TZB v prostorách zastupitelského úřadu ČR v Tokiu* [online]. 2014 [cit. 2017-02-07]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/11629-mereni-a-regulace-systemu-tzb-v-prostorach-zastupitelskeho-uradu-cr-v-tokiu>
- [23] *Řešení dálkových odečtů – AMR ve výškových budovách* [online]. 2014 [cit. 2017-02-07]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/10789-reseni-dalkovych-odectu-amr-ve-vyskovych-budovach>
- [24] MATZ, Václav. *Prezentace výrobního portfolia* [online]. 2013 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: http://measure.fel.cvut.cz/system/files/files/cs/vyuka/predmety/A5M38SZS/2013_CentraLine_SW_Centraly-1.pdf

- [25] ŠASTNÝ, Ladislav, Lešek FRANEK a Petr FIEDLER. Wireless communications in smart metering. *IFAC Proceedings Volumes* [online]. 2013, **46**(28), 330-335 [cit. 2017-01-16]. DOI: 10.3182/20130925-3-CZ-3023.00035. ISSN 1474-6670. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S1474667015373481>
- [26] LIPOSCAK, Zdravko a Marin BOSKOVIC. Survey of smart metering communication technologies. In: *EUROCON, 2013 IEEE* [online]. IEEE, 1307, s. 1391-1400 [cit. 2017-02-07]. DOI: 10.1109/EUROCON.2013.6625160. ISBN 978-1-4673-2230-0. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.lib.vutbr.cz/document/6625160/>
- [27] CORVAJA, R. QoS Analysis in Overlay Bluetooth-WiFi Networks with Profile-Based Vertical Handover. *Mobile Computing, IEEE Transactions on* [online]. USA: IEEE, 0612, **5**(12), 1679-1690 [cit. 2017-02-07]. DOI: 10.1109/TMC.2006.187. ISSN 1536-1233. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.lib.vutbr.cz/document/1717437/>
- [28] *GSM GPRS Energy Meter* [online]. 2017 [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <http://www.en-mat.com/store/gsm-gprs-energy-meter>
- [29] HYNČICA, Ondřej, Pavel KACZ, Zdeněk BRADÁČ a Petr FIEDLER. ZigBee v praxi: první zkušenosti s novou bezdrátovou technikou. *AUTOMA: časopis pro automatizační techniku* [online]. 2005, **11**(12) [cit. 2017-02-25]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: http://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/zigbee-v-praxi-prvni-zkusenosti-s-novou-bezdratovou-technikou-2005_12_30819_721/
- [30] CHEN, Hung-Cheng a Long-Yi CHANG. Design and Implementation of a ZigBee-Based Wireless Automatic Meter Reading System. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY* [online]. 2012, **88**(1b) [cit. 2017-02-08]. ISSN 0033-2097. Dostupné z: <http://www.pe.org.pl/articles/2012/1b/14.pdf>
- [31] ŠLOSARČÍK, Luděk. *Novinka v oblasti jednofázových elektroměrů a její využití v systémech pro automatizovaný sběr dat (AMR)* [online]. 2011 [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/novinky/freescale/novinka-v-oblasti-jednofazovych-elektromeru-a-jeji-vyuziti-v-systemech-pro>
- [32] *3-fázový elektroměr (Modbus)* [online]. 2017 [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <http://shop.loxone.com/cscz/3-fazovy-elektromer-modbus.html>
- [33] NOVOTNÝ, Michal. *Komunikace s elektroměry dle normy ČSN EN 62056-21* [online]. 2010 [cit. 2017-02-07]. Dostupné z: http://www.amit.cz/support/cz/aplikacni_poznamky/ap0039_cz_01.pdf
- [34] MICHALEC, Libor. *Úvod do KNX* [online]. 2013 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/teorie-a-praxe/knx.html>
- [35] MICHALEC, Libor. *Topologie KNX* [online]. 2013 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/energetika-a-smart-grids/topologie-knx.html>

[36] *KNX water meter WATERSTAR®* [online]. 2017 [cit. 2017-04-09]. Dostupné z:
<http://www.lingg-janke.de/en/professionals/products/water-meter/engelmann.html#prettyPhoto>

11 Seznam použitých zkratk a veličin

11.1 Seznam použitých veličin

Název veličiny	Značka	Jednotka	
Napětí	U	V	volt
Proud	I	A	ampér
Délka	l	m	metr
Čas	t	s	sekunda
Frekvence	f	Hz	hertz
Jednotka informace		b	bit
Jednotka informace		B	bajt
Modulační rychlost		Bd	baud
Přenosová rychlost		b/s	bit za sekundu

11.2 Seznam použitých zkratk

2G	2. generace mobilní telefonní sítě
3G	3. generace mobilní telefonní sítě
ACD	angl. Access Demand; žádost o přístup
AES	angl. Advanced Encryption Standard; standard pokročilého šifrování
AMI	angl. Advance Meters Infrastructure; pokročilá infrastruktura měřičů
AMM	angl. Automated Meter Management; samočinná správa měřidel
AMR	angl. Automatic Meter Reading; samočinné odečítání měřičů
ASCII	angl. American Standard Code for Information Interchange; americký standardní kód pro výměnu informací
ATM	angl. Asynchronous Transfer Mode; asynchronní přenosový mód, standard pro vysokorychlostní přenosovou architekturu
BACnet	angl. Building Automation and Control networks; síť pro automatizaci a řízení budov
BCD	angl. Binary-Coded Decimal; dvojkově reprezentované desítkové číslo
BMS	angl. Building Management System; systém správy budov
CON	angl. Confirm; potvrzení
ČSN	Česká státní norma
DFC	angl. Data Flow Control; bit řízení datového toku
DLMS/COSEM	angl. Device Language Message Specification/Companion Specification for Energy Metering; specifikace jazyka zpráv od zařízení/doprovodná specifikace pro měření energie
EEPROM	angl. Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory; elektricky vymazatelná programovatelná paměť jen pro čtení
EIB	angl. European Installation Bus; evropská instalační sběrnice
EKV	Elektrická kontrola vstupu

EN	Evropská norma
EZS	Elektronický zabezpečovací systém
FCB	angl. Frame Count Bit; bit počítadla rámců
FCV	angl. Frame Count Valid; příznak platnosti čítače rámců
FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
FTP	angl. File Transfer Protocol; (komunikační) protokol přenosu souborů
GAN	angl. Global Area Network; globální síť
GPRS	angl. General Packet Radio Service; všeobecná služba radiových paketů
GSM	franc. Groupe Spécial Mobile; pracovní skupina pro mobilní komunikaci
IEC	angl. International Electrotechnical Commission; Mezinárodní elektrotechnická komise
IEEE	angl. Institute of Electrical and Electronics Engineers; Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství
ISM	angl. Industrial, Scientific and Medical; pásmo pro průmyslové, vědecké a zdravotnické použití
ISO	angl. International Organization for Standardization; Mezinárodní organizace pro normalizaci
ISO-OSI	angl. International Organization for Standardization - Open Systems Interconnection; Mezinárodní organizace pro normalizaci – Propojení otevřených systémů
LAN	angl. Local Area Network; místní síť
LON	angl. Local Operating Network; místně pracující síť
LTE	angl. Long Term Evolution; dosl. „dlouhodobý vývoj“, technologie vysokorychlostního internetu
M-Bus	angl. Meter Bus; měřicí sběrnice
MAN	angl. Metropolitan Area Network; městská síť
MCU	angl. MicroController Unit; jednotka mikrořadiče
MDH	angl. Manufacturer Data Header; hlavička dat výrobce
OLE	angl. Object Linking and Embedding; spojování a vkládání objektů
OPC	angl. OLE Process Control; řízení procesů OLE
PDU	angl. Protocol Data Unit; datová jednotka protokolu
PLC	angl. Programmable Logic Controller; programovatelný logický řadič
PSTN	angl. Public Switched Telecommunication Networks; veřejné přepínané telefonní sítě
RAM	angl. Random Access Memory; paměť s náhodným přístupem
REQ	angl. Request; požadavek
RF	angl. Radio Frequency; rádiový kmitočet
RSP	angl. Respond; odezva
RSP_UD	angl. Respond User Data; odezva uživatelských dat
RSSI	angl. Received Signal Strength Indication; zobrazení síly přijatého signálu
SIM	angl. Subscriber Identity Module; modul identity účastníka
SND	angl. Send; odeslat, odeslaný
SNMP	angl. Simple Network Management Protocol; jednoduchý protokol pro správu sítě
TCP/IP	angl. Transmission Control Protocol/Internet Protocol; protokol řízení přenosu/internetový protokol
UAMT	Ústav automatizace a měřicí techniky
UART	angl. Universal Asynchronous Receiver/Transmitter; univerzální

UMTS	asynchronní přijímač/vysílač angl. Universal Mobile Telecommunications System; univerzální systém mobilních telekomunikací
USB	angl. Universal Serial Bus; univerzální sériová sběrnice
VUT	Vysoké učení Technické
WAN	angl. World Area Network; světová síť
wM-Bus	angl. Wireless M-Bus; bezdrátová sběrnice M-Bus

12 Seznam použitých obrázků

Obr. 3.1	Topologie počítačových sítí	18
Obr. 3.2	Topologie typu sběrnice	18
Obr. 3.3	Hvězdicová topologie použitá pro M-Bus	19
Obr. 3.4	Kombinace hvězdicové a sběrnice topologie	20
Obr. 4.1	Skokové změny napětí a proudu na sběrnici	23
Obr. 4.2	Schéma bajtů v obou směrech vysílání	24
Obr. 4.3	Zahájení komunikace a přenos dat	33
Obr. 4.4	Průběh komunikace při vysílání většího množství dat	33
Obr. 4.5	Přerušování vysílání pomocí aplikačního resetu	34
Obr. 4.6	Komunikace v případě přerušování spojení	35
Obr. 5.1	Schéma zapojení sběrnice M-Bus s převodníkem	39
Obr. 5.2	Schéma zapojení s opakovačem	40
Obr. 6.1	Propojení měřících zařízení s koncentrátorem	42
Obr. 6.2	Typy propojení prvků sběrnice a použití mostů	43
Obr. 7.1	Propojení jednotlivých systémů pro automatizaci budov	48
Obr. 8.1	Typická architektura systému AMI	50
Obr. 8.2	Elektroměr schopný komunikace přes GSM/GPRS od výrobce ENMAT	53
Obr. 8.3	Jednofázový elektroměr výrobce Freescale semiconductor s integrovaným Zigbee modulem	55
Obr. 8.4	3-fázový elektroměr s rozhraním pro Modbus od výrobce Loxone	56
Obr. 8.5	Vodoměr Engelmann WATERSTAR® schopný komunikace přes KNX	59